



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

SCHRIFTENREIHE REAKTORSICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

**MACHBARKEITSSTUDIE: VERIFIZIERUNG DER BESCHWERDEN
„ELEKTROSENSIBLER“ VOR UND NACH EINER SANIERUNG**

BMU - 2004-638



WIR STEuern UM AUF ERNEUERBARE ENERGIEN.

BMU – 2004-638

**Machbarkeitsstudie: Verifizierung der Beschwerden
„Elektrosensibler“ vor und nach einer Sanierung**

Dr. Ulrich Frick

Monika Meyer

Simone Hauser

Dr. Peter Eichhammer

IMPRESSUM

Dieser Band enthält einen Abschlussbericht über ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördertes Vorhaben. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BMU übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Eigentümer behält sich alle Rechte an der weiteren Nutzung oder Vervielfältigung des Berichts vor.

Der Bericht wurde durch die AG Umweltmedizin der Psychiatrischen Universitätsklinik Regensburg unter Projektleitung von Dr. Ulrich Frick erstellt.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BMU übereinstimmen.

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Arbeitsgruppe RS I 1
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

ISSN 1612-6386

Erscheinungsjahr: 2004

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	5
Summary	6
1. Einführende Literaturübersicht	7
1.1 Umweltbezogene Krankheiten	7
1.1.1 Entstehung der „Elektrosensibilität“	7
1.1.2 Nomenklatur / Definition	8
1.1.3 Prävalenz und Erscheinungsbild der „Elektrosensibilität“	8
1.2 Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf den Menschen	11
1.2.1 Niederfrequenter Bereich	12
1.2.1.1 Epidemiologische Studien	12
1.2.1.2 Experimentelle Studien	15
1.2.2 Hochfrequenter Bereich	17
1.2.2.1 Epidemiologische Studien	17
1.2.2.2 Experimentelle Studien	18
1.3 Personen mit spezifischer Sensibilität	19
1.3.1 Problem der Diagnostik	19
1.3.2 Provokationsstudien	21
1.3.3 Interventionsstudien	23
1.4 Ein kognitives Erklärungsmodell der „Elektrosensibilität“	25
1.5 Schlussfolgerungen und Fragestellung für die Feldphase I	27
1.6 Literatur Kapitel 1	28
2. Feldphase I: „Elektrosmog-Beschwerden“ in der Allgemeinbevölkerung	32
2.1 <i>Wie definiert man „elektrosensible Personen“?</i>	32
2.2 <i>Wie werden die Beschwerden und Beeinträchtigungen der sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Personen erfasst?</i>	33
2.2.1 Stichprobe und Methoden	34
2.2.2 Ergebnisse	36
2.2.3 Diskussion	42
2.3 Literatur Kapitel 2	45
3. Feldphase II: Expositionsversuche (<i>„Können in Expositionsversuchen Personen mit besonderer Elektrosensibilität herausgefunden werden?“</i>)	48
3.1 Stichprobenbeschreibung	48
3.1.1 Rekrutierung der ProbandInnen	48
3.1.2 Deskriptive Daten der Versuchsgruppen	49
3.2 Ablauf, verwendete Verfahren	51
3.2.1 Die Transkranielle Magnetstimulation (<i>„Durch welche medizinischen Untersuchungen könnte ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen EMF und den angegebenen Beschwerden abgeklärt werden?“</i>)	51
3.2.1.1 Prinzip und Methode	51
3.2.1.2 Die TMS als Therapeutikum in der Psychiatrie	52
3.2.1.3 Sicherheitsrichtlinien, Nebenwirkungen	52
3.2.2 Interview	53
3.2.3 Messung der subjektiven Kontrollüberzeugungen zu Gesundheit und Krankheit	53
3.3 Versuchsaufbau	54
3.3.1 Messung der subjektiven Wahrnehmungsschwelle	55

3.3.2	Messung der objektiven motorischen Schwellen und Doppelpuls	56
3.4	Statistische Auswertung	57
3.5	Ergebnisse	58
3.5.1	Bestimmung der subjektiven Wahrnehmungsschwellen	61
3.5.2	Konfirmatorische Auswertung des Hauptzielkriteriums	66
3.5.3	Sekundäre Zielkriterien: Nutzung von Elektrogeräten, Krankheitskontrollüberzeugung	68
3.5.4	Explorative Analyse weiterer physiologischer Parameter: Kortikale Exzitabilität	70
3.6	Literatur Kapitel 3	72
4.	Einfluss der Befragungssituation auf EMF-bezogene Beschwerden (<i>“Können ähnliche Erfolge auch durch verstärkte Aufklärung erreicht werden?“</i>)	74
4.1	Experimentelles Design	74
4.2	Varianzanalytische Auswertung	76
4.3	Bedeutung der Ergebnisse	78
4.4	Weitere in Feldphase I gewonnene Erkenntnisse für eine mögliche Hauptstudie	79
4.4.1	<i>„Wie gewinnt man die Studienteilnehmer?“</i> <i>“Welche Personen könnten als Kontrollen herangezogen werden?“</i>	79
4.4.2	<i>“Wie werden sie informiert, ohne sie –positiv oder negativ– zu beeinflussen?“</i>	81
4.4.3	<i>„Welche Fallzahlen werden benötigt, um die erforderliche statistische Power zu gewährleisten?“</i>	84
4.4.4	<i>„Welche zeitlichen Abstände zwischen Messungen und Untersuchungen sind akzeptabel?“</i> <i>„Welche Messungen im NF und HF Bereich sind nötig, um die Umgebungs-Feldstärken der Studienteilnehmer zu ermitteln?“</i>	85
4.5	Methodischer Exkurs: Aussagekraft der untersuchten Stichprobe für die Bevölkerungssituation (Autor: W. Barta)	86
4.5.1	Einleitung: Nonresponse in epidemiologischen Feldstudien	86
4.5.2	Methode	88
4.5.3	Ergebnisse	93
4.5.4	Diskussion	95
5.	Folgerungen für die Fragestellungen der Machbarkeitsstudie (<i>“Welche ‘Sanierungskonzepte’ sind denkbar bzw. möglich?“</i>)	96
5.1	Studiendesign einer möglichen Hauptstudie	98
5.2	Literatur zu den Kapiteln 4 und 5	102

Zusammenfassung

Als Machbarkeitsstudie zu einer später durchzuführenden Hauptstudie wurden Messmethoden entwickelt, um die von subjektiv „elektrosensiblen“ Personen vielfach geäußerten Beschwerden zu quantifizieren, Strategien einer möglichen Intervention zu beschreiben, und methodische Probleme einer späteren Interventionsstudie so weit wie möglich aufzufangen.

Dazu wurde zunächst durch eine Literaturanalyse ein Überblick über die im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern (EMF) genannten subjektiven Beschwerden erstellt. Eine Repräsentativerhebung (n=758) in der Allgemeinbevölkerung (18-64 Jahre) einer deutschen Großstadt (Regensburg) ermöglichte in einem zweiten Schritt die Bestimmung der 30-Tage Prävalenz dieser Beschwerden in einer unausgelesenen Bevölkerungstichprobe.

Latent-Class und Latent-Trait Analysen führten zu dem Schluss, dass hinter den heterogenen und unterschiedlichsten Organsysteme betreffenden Beschwerden bevölkerungsweit ein homogenes, latentes Persönlichkeitsmerkmal im Sinne unterschiedlich hoher Beschwerdenlevel ohne Differenzierung von spezifischen Einzelsymptomen vermutet werden kann. Hinweise auf ein spezifisches Cluster von Symptomen, die möglicherweise die Existenz einer Subgruppe von „elektrosensiblen“ Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt hätten, fanden sich nicht.

Aus der repräsentativen Bevölkerungstichprobe wurden anschließend zwei Kontrollgruppen (n=27 und n=28) mit jeweils sehr hoher oder sehr geringer Beschwerdenlast auf den EMF-bezogenen Beschwerden für weitere Untersuchungen gewonnen. Zusätzlich wurden via Presseaufruf subjektiv „elektrosensible“ Personen (n=30) für die Teilnahme an den folgenden Untersuchungen rekrutiert. In allen drei Untersuchungsgruppen wurden die psychophysischen Wahrnehmungsschwellen einer singulären transkranialen Magnetstimulation am motorischen Kortex bestimmt. Zudem wurde die Fähigkeit der Personen gemessen, zwischen einem tatsächlichen und einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden (Doppel-Blind-Design). Die Messung der objektiven motorischen Schwelle und der kortikalen Exzitabilität rundeten das Messprogramm dieser zweiten Erhebung ab.

Es konnte eine klar verminderte Fähigkeit subjektiv „elektrosensibler“ Personen festgestellt werden, zwischen einem simulierten und einem Magnetimpuls zu unterscheiden. Die objektiven motorischen Schwellen und das Ausmaß der EMF-bezogenen Beschwerden standen in keinem Zusammenhang mit der Wahrnehmungskompetenz auf magnetische Impulse. Es fanden sich weiterhin Hinweise, dass „elektrosensible“ Personen möglicherweise eine veränderte kortikale Exzitabilität aufweisen, was ein neurobiologisches Korrelat ihrer veränderten Wahrnehmungsleistung sein könnte.

Als Interventionsstrategie zur Bewältigung von EMF-bezogenen Beschwerden wurde die Konzeption einer kognitiv-behavioralen Interventionsstudie als Hauptstudie empfohlen, die auch die neuartigen Erkenntnisse dieser Machbarkeitsstudie integriert und so einer von „Elektrosensiblen“ vielfach gefürchteten „Psychiatisierung“ ihrer Beschwerden entgegenwirkt. Die geschätzten Kosten einer solchen zweijährigen Studie würden sich in der Größenordnung von EUR 460.000 bewegen.

Summary

As a feasibility study to design an intervention study with claimed „electrosensitive“ people, this study aimed at constructing a valid and reliable questionnaire to measure the level of complaints potentially related to electromagnetic fields. Additionally, confounder variables for a subsequent intervention should be identified and reasonable intervention strategies for „electrosensitive“ probands should be described.

Starting with an extensive literature overview, a list of 36 complaints was generated comprising all symptoms that were alleged to correlate with exposure to electromagnetic fields. A representative survey (n=758) among the general population of Regensburg aged 18 to 64 years enabled us to determine 30-day prevalence of these complaints.

Analyzing the responses to the EMF-related complaints with latent class and latent trait models revealed a homogeneous latent trait as the common source of variance behind the heterogeneous list of complaints. Despite the fact that different organ systems were covered by the complaint list and heterogeneous symptoms were asked, the best representation of the data was a single quantitative latent variable in the sense of a Rasch scale. No specific configuration of complaints or symptom cluster describing a subgroup of people suffering from a specific pattern of complaints could be found. The new score measures EMF-related complaints on an interval level and can be used as major study endpoint when conducting an intervention study.

From the general population sample two control groups for the second part of this study were recruited: People suffering from virtually no symptoms of the list of EMF-related complaints (first decile; low complaint level LCL; n=28) or people suffering from a very high symptom load (highest decile) of the same list (high complaint level HCL; n=27). These two control groups with maximized differences in complaint level were compared to subjectively electrosensitive people (n=30) enrolled after appearance of an article in the local press. Subjects in all three groups agreed to be exposed to singular transcranial magnetic pulses to the prefrontal dorsolateral cortex (motor cortex) in order to determine their perception thresholds for magnetic pulses and their individual thresholds for a motor response. Subjects' ability to discriminate between a real magnetic pulse and a sham condition was determined under double blind conditions. Their cortical excitability during a double pulse paradigm was additionally measured.

Subjectively electrosensitive people displayed a reduced ability to discriminate between a real and a sham pulse while their objectively measured motor thresholds were not altered as compared to both control groups. The level of complaints from EMF-related symptoms did not correlate neither with motor thresholds nor with perception thresholds. Cortical excitability of subjectively electrosensitive people showed a reduced cortical facilitation under a 15 ms interval of the two consecutive magnetic pulses. Whether this effect could describe a neurobiological correlate of the reduced discriminative ability of subjectively electrosensitive people should be subject of replication studies in larger samples.

Most promising intervention strategies are cognitive behavioral trainings to cope with EMF-related symptoms additional or alternative to a remediation of the electromagnetic surroundings. This could ameliorate the personal situation of the relevant persons. Integration of altered neurological excitability in the study design could prevent subjectively electrosensitives from being labeled as psychiatric patients. The design for a two years lasting intervention study was given. Study costs were estimated at about € 460'000.

1. Einführende Literaturübersicht

1.1 Umweltbezogene Krankheiten

Das Thema Umwelt und Umweltverschmutzung ist in den letzten Jahrzehnten im Bewusstsein der Bevölkerung westlicher Industrienationen deutlich präsenter geworden (Kramer 1998). Das zunehmende Wissen um die Verbreitung von Chemikalien und technischen Emissionen (wie z. B. künstlich erzeugter Strahlung) in der natürlichen Umgebung, der Nahrungskette, aber auch an Wohn- und Arbeitsplätzen lässt in der Bevölkerung Ängste zunehmen, dass die Umwelt zu einer Quelle verschiedenster gesundheitsschädigender Belastungen geworden ist. Reißerische Informationsaufbereitung in den Medien, widersprüchliche Expertenmeinungen und die damit einhergehende Verunsicherung über das Ausmaß der tatsächlichen Bedrohung durch Umwelttoxene schüren die Besorgnis in der Bevölkerung zusätzlich. Die Entwicklung einer zunehmenden Umweltangst wird u. a. dadurch deutlich, dass die Zahl der Patienten stetig ansteigt, die sich an Ärzte, umweltmedizinische Ambulanzen und Beratungsstellen wegen unspezifischer Beschwerden wenden, für die sie Umweltgifte als Ursache angeben (Neuhann et al 1994). Tatsächlich ist die medizinische Forschung und Praxis mittlerweile mit einer Vielzahl von umweltbezogenen Krankheitssyndromen konfrontiert, für die aktuell weder eine einheitliche Symptomatologie noch eine gesicherte ätiopathogenetische Klassifikation noch eine einhellige diagnostische und therapeutische Herangehensweise existiert. Multiple Chemical Sensitivity (Arnetz 1999), Sick Building Syndrome (Bullinger et al 1993) (Arnetz 1998) oder auch Chronic Fatigue Syndrome (Chester and Levine 1997) haben sich beispielsweise als mehr oder minder vage Bezeichnungen für derartige Störungsbilder eingebürgert. Allerdings existieren noch wesentlich mehr Bezeichnungen für ähnliche, bisher nicht hinreichend abgegrenzte und objektivierte Störungsbilder.

1.1.1 Entstehung der „Elektrosensibilität“

Anfang der 80er Jahre wurden in Norwegen erste Berichte von einem bis dato nicht existenten Krankheitsphänomen veröffentlicht ((Lindén and Rolfsen 1981); (Nilsen 1982)). Angestellte der norwegischen Telefongesellschaft klagten über Probleme mit ihrer Gesichtshaut, die kurz nach der Einführung von Bildschirmen an ihrem Arbeitsplatz entstanden sein sollten. Einzelne Veröffentlichungen aus anderen Ländern folgten ((Rycroft and Calnan 1984); (Feldman et al 1985); (Matsunaga et al 1988)), doch in Schweden kam es zu einer epidemieartigen Ausbreitung dieses Phänomens. Anstoß zu dieser Entwicklung gab die Entscheidung einer lokalen Krankenversicherungsgesellschaft, drei Dermatitis-Patienten wegen eines nicht definitiv auszuschließenden Zusammenhangs ihrer Beschwerden mit ihrer Tätigkeit am Bildschirm als Fälle von Arbeitskrankheit anzuerkennen. Dieser Präzedenzfall erfuhr ein enormes Medieninteresse, in dessen Folge die Zahl von Berufstätigen an Bildschirmarbeitsplätzen, die an Hautbeschwerden litten, alarmierend anstieg. Längere krankheitsbedingte Abwesenheitsphasen mit teilweise enormen Leistungseinbußen für betroffene Firmen waren keine Seltenheit. Im Laufe der Jahre erfuhren die Symptome wie auch die als Ursache vermuteten Quellen, nämlich elektromagnetische Felder (EMF), eine deutliche Ausweitung: Waren es zunächst nur Hautbeschwerden in Verbindung mit Bildschirmemissionen, so trat nun eine Vielzahl unspezifischer neurovegetativer Symptome wie Müdigkeit, Konzentrationsstörungen und Kopfschmerzen hinzu, nach Meinung Betroffener ausgelöst durch die elektrische Umgebung im Allgemeinen (Klave et al 1979). In vielen europäischen und außereuropäischen Ländern zählt die Attribution von diffusen Gesundheitsbeschwerden auf die Benutzung von Elektrogeräten oder die Nähe von elektrischen und magnetischen Feldern (EMF) mittlerweile zu einem bekannten Phänomen (Berqvist et al 1997). Die Fallbeschreibungen reichen von leicht ausgeprägten und vorübergehenden

Symptomen bis hin zu schwersten Beeinträchtigungen im Alltag, wobei manche Betroffene als einzigen Ausweg nur noch die vollständige Isolation von der Zivilisation in Form eines in der Wildnis aufgestellten EMF-freien Wohnwagens sehen (Harlacher and Schahn 1998).

1.1.2 Nomenklatur / Definition

In der internationalen wissenschaftlichen Literatur hat sich für dieses Phänomen noch keine einheitliche Bezeichnung etabliert. Begriffe wie „Sensitivity to electricity“, „Electrohypersensitivity“ oder „Electromagnetic Hypersensitivity“ sind zu finden – wobei die Namensgebung noch keinerlei Wirkungszusammenhang zwischen Feldern und den berichteten Beschwerden impliziert. Auch im deutschsprachigen Raum werden unterschiedliche Bezeichnungen z. T. völlig diametral gehandhabt: Während Müller (Müller 2000) *Elektrosensibilität* (ES) als Attribuierung 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. Für das oben eingeführte Krankheitsphänomen - also der subjektiven Überzeugung von Personen, gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Einwirkung von EMF zu erfahren - wird im Folgenden der Begriff „Elektrosensibilität“ (ES) verwendet.

Ein enormes Forschungsaufgebot setzte sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten mit diesem neuen Krankheitsphänomen auseinander. Die Grundfrage, ob ES ein tatsächliches „bio-elektrisches“ Phänomen darstellt und/oder aber ein psychologischer Verursachungsmechanismus zugrunde liegt, konnte bis zum aktuellen Zeitpunkt jedoch nicht zweifelsfrei geklärt werden.

1.1.3 Prävalenz und Erscheinungsbild der Elektrosensibilität

In einem von der Europäischen Kommission unterstützten internationalen Forschungsprojekt wurden europaweit in insgesamt 13 Ländern nationale Einrichtungen für Arbeitsmedizin und Selbsthilfegruppen zum Ausmaß und Erscheinungsbild der Elektrosensibilität befragt (Berqvist et al 1997). Zwar stellt diese Untersuchung die bisher umfassendste Schätzung des Auftretens dieses Krankheitsphänomens dar, doch müssen bezüglich der Interpretation der Ergebnisse gewisse Einschränkungen berücksichtigt werden: Da zum einen nicht alle in den einzelnen Ländern existierenden arbeitsmedizinischen Einrichtungen und Selbsthilfegruppen miteinbezogen werden konnten, zum anderen die Rücklaufquote aus einigen Ländern gering war, und darüber hinaus die Angaben der antwortenden Personen auf individuellen Einschätzungen (und nicht auf objektiven Statistiken) beruhen, weisen die Autoren darauf hin, dass diese Ergebnisse eher in einem qualitativen denn quantitativen Sinne zu interpretieren sind.

Zwischen den einzelnen Ländern lassen sich bemerkenswerte Unterschiede ausmachen. Hinsichtlich der Frage nach der Präsenz des Problems der Elektrosensibilität berichten arbeitsmedizinische Einrichtungen aus Deutschland, Österreich, Frankreich, Norwegen und Schweden von Konsultationen seitens Betroffener, während hingegen die Mehrheit dieser Einrichtungen in Italien und Großbritannien bis dato keine Anfragen von elektrosensiblen Personen erhalten haben. Antworten aus südlicheren Ländern wie Portugal, Spanien und Griechenland und auch kleineren Ländern wie Belgien und Luxemburg gingen bei der Forschungsgruppe nicht ein, was möglicherweise auf ein geringeres Auftreten oder zumindest ein geringeres Bewusstsein bezüglich dieses Problems¹ in diesen Gebieten hinweist.

¹ In der grundsätzlichen „Umweltbesorgtheit“ nimmt allerdings Griechenland einen europäischen Spitzenplatz ein ((Kramer 1998)).

Die länderspezifischen Prävalenzschätzungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Die höchsten Fallschätzungen lieferten arbeitsmedizinische Einrichtungen in Deutschland und Schweden, auch die Schätzungen der Selbsthilfegruppen dieser Länder rangieren hier an erster Stelle (zusätzlich Irland). Generell lagen die Fallzahlen nach Meinung der Selbsthilfegruppen etwa eine Größenordnung über den Angaben der arbeitsmedizinischen Zentren.

Tabelle 1.1: Schätzungen der arbeitsmedizinischen Einrichtungen zur Prävalenz der Elektrosensibilität (nach (Berqvist et al 1997), Anhang 1; S.5)

Land	Eingegangene Fb ^{a)}	Schätzungen der Fälle ^{b)}		
		<10	Median	>10.000
Dänemark	13	2	100-1000	0
Deutschland	8	0	1000-10.000	3
Färöer Inseln	1	-	-	-
Finnland	2	0	10-1000	0
Frankreich	6	0	10-100	0
Großbritannien	7 ^{c)}	1	< 10	0
Irland	1	0	10-100	0
Island	1	-	-	-
Italien	4	0	10-100	0
Niederlande	1	0	10-100	0
Norwegen	6	0	100-1000	0
Österreich	4	1	10-100	0
Schweden	8	0	1000-10.000	2

a) Anzahl der Antworten aus den jeweiligen Ländern, unabhängig davon, ob Angaben zu diesen Fragen gemacht wurden.

b) Anzahl der Einrichtungen, die in den beiden Extremkategorien antworteten; Median der Angaben aller Einrichtungen pro Land

c) Nur ein Fb enthielt Angaben zu diesen Fragen

Tabelle 1.2: Schätzungen der Selbsthilfegruppen zur Prävalenz der Elektrosensibilität (nach (Berqvist et al 1997))

Land	Eingegangene Fb ^{a)}	Schätzungen der Fälle ^{b)}		
		<10	Median	>10.000
Dänemark	1	0	1000-10.000	0
Deutschland	3	0	>10.000	3
Frankreich	2	0	1000-10.000	0
Irland	2	0	>10.000	2
Norwegen	1	0	100-1000	0
Schweden	1	0	>10.000	1

a) Anzahl der Antworten aus den jeweiligen Ländern, unabhängig davon, ob Angaben zu diesen Fragen gemacht wurden.

b) Anzahl der Selbsthilfegruppen, die in den beiden Extremkategorien antworteten; Median der Angaben aller Einrichtungen pro Land

Im Verhältnis zu den Bevölkerungszahlen ergeben die Prävalenzschätzungen der arbeitsmedizinischen Einrichtungen ein deutliches Nord-Süd- und Ost-West-Gefälle, mit jeweils höheren Zahlen von ES-Betroffenen in den nördlicher (z. B. Schweden, Norwegen, Dänemark) und östlicher (wie z. B. Deutschland und Österreich) gelegenen Ländern Europas (Silny 1998).

Geographische Unterschiede werden auch hinsichtlich der (erst)auslösenden Situationen deutlich: Die nordischen Länder (Dänemark, Norwegen, Schweden, Finnland) fokussieren auf Arbeitssituationen als Auslöser, in Deutschland äußert sich das Problem der Elektrosensibilität dagegen überwiegend in häuslicher Umgebung.

Ebenso ließen sich länderspezifische Unterschiede hinsichtlich der symptomauslösenden EMF-Quellen identifizieren. In Kontinentaleuropa (Deutschland, Frankreich, Italien) und den britischen Inseln wird häufig Hochfrequenzanlagen eine gesundheitsschädigende Wirkung zugeschrieben. Sendestationen, Sendemasten, Fernsehtürme, Radarstationen oder auch Mobiltelefone werden von Betroffenen dort als Auslöser für ihre Beschwerden genannt. Aus dem niederfrequenten Bereich werden Hochspannungsleitungen und Trafostationen berichtet (auch in Dänemark und Norwegen). In den skandinavischen Ländern scheinen hochfrequente Quellen jedoch nicht als Auslöser für unspezifische Beschwerden in Frage zu kommen, keines der Länder gab Hochfrequenzanlagen als Ursachen hierfür an. Vielmehr attribuieren dort die Betroffenen ihre Beschwerden auf interne elektrische Anwendungen wie Bildschirme oder Leuchtstoffröhren.

Das Symptombild zeichnet sich über alle Länder hinweg in erster Linie durch Beschwerden des zentralen Nervensystems (insbesondere neurasthenische Symptome und Kopfschmerzen) aus. Am zweithäufigsten werden Hautsymptome genannt, wobei hier wiederum eine länderspezifische Differenzierung vorgenommen werden muss: Arbeitsmedizinische Einrichtungen aus nordischen Ländern melden ein substantielles Auftreten dieser Symptome, seltener werden sie aus Österreich, Deutschland und Dänemark berichtet, überhaupt keine Erwähnung finden Hautbeschwerden dagegen in den anderen untersuchten Ländern.

Neben diesem europaweiten semi-quantitativen Bericht der Europäischen Kommission liegen vereinzelte quantitative Ergebnisse aus Untersuchungen zur Auftretenshäufigkeit der Elektrosensibilität vor. Eine telefonische Umfrage in der erwachsenen Bevölkerung Kaliforniens erbrachte eine adjustierte Prävalenz von 3,2 % allergisch oder überempfindlich auf elektrische Anlagen (Geräte, Computer, Starkstromleitungen) reagierender Personen (Levallois et al 2002). Als stärkster Prädiktor für ES wurde die Angabe einer ärztlich diagnostizierten Umweltkrankheit oder Multiple Chemical Sensitivity identifiziert, ferner waren Arbeitsunfähigkeit, geringes Einkommen und Zugehörigkeit zu anderen ethnischen Gruppen als Weißen, Schwarzen oder Hispano-Amerikanern mit einem erhöhten Risiko für ES verbunden.

In einer repräsentativen Erhebung in der Bevölkerung von Stockholm Land berichteten 1,5 % der Befragten von einer Überempfindlichkeit gegenüber elektrischen oder magnetischen Feldern (Hillert et al 2002). Frauen sowie Immigranten waren in dieser Gruppe verstärkt vertreten. Bei beiden Studien ist zu beachten, dass die Schätzungen rein auf Selbstberichten Betroffener beruhen. Diese methodische Schwäche ist jedoch ein generelles Problem in der Erforschung der Elektrosensibilität, da klinisch validierte Diagnosekriterien bislang fehlen.

Leitgeb's Prävalenzschätzungen beziehen sich dagegen auf eine „objektiv“ erfasste erhöhte Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern (Leitgeb 1995). Er errechnete aus einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe Österreichs eine Prävalenzrate von ca. 2 % *messbar* empfindlich auf elektrische Ströme reagierender Personen. Diese zufällig aus der Normalbevölkerung ausgewählten Versuchspersonen erwiesen sich in einem Doppelblind-

Experiment zur Bestimmung der Wahrnehmbarkeitsschwelle für schwache 50 Hz-Wechselströme, die über den Unterarm appliziert wurden, als deutlich empfindlicher als der Durchschnitt (die Wahrnehmungsschwelle bei Frauen lag um ca. 30 % niedriger als bei Männern). Leitgeb schlussfolgert daraus, dass ca. 2 % der Bevölkerung die Voraussetzung für elektrosensible Reaktionen aufweisen. Da sich allerdings unter diesen *sensitiven* Probanden keine Personen mit akuten – auf EMF attribuierten – Beschwerden befanden, dürfte der Prozentsatz der *Elektrosensiblen*, die im Alltag tatsächlich an (vermeintlich) durch EMF hervorgerufenen Symptomen leiden, deutlich geringer ausfallen.

An dieser Stelle sei noch einmal auf das Problem der Unterscheidung zwischen den beiden begrifflichen Konzepten der *Sensitivität* und *Sensibilität* hingewiesen. Die Ergebnisse von Leitgeb stützen die Hypothese, dass es eine messbare, objektivierbare Elektrosensitivität gibt, d. h. Personen in der Allgemeinbevölkerung existieren, die elektrische Vorgänge eher wahrnehmen als der Bevölkerungsdurchschnitt. Wie bei jedem biologischen Merkmal, das sich über die Bevölkerung hinweg quantitativ unterschiedlich verteilt, existiert eben eine unterste Gruppe von Personen, die am Ende der betreffenden Verteilung zu liegen kommen. Entscheidend ist aber, ob zwischen dieser Verteilung der messbaren Elektrosensitivität und der subjektiven Empfindlichkeit zunächst ein statistischer, und wenn zutreffend möglicherweise auch ein kausaler, biologischer Zusammenhang besteht. Die Frage der Elektrosensibilität, sprich ob Personen, die sich durch EMF beeinträchtigt fühlen, tatsächlich eine gesteigerte Empfindlichkeit aufweisen bzw. die Einwirkung von EMF tatsächlich körperliche Veränderungen verursacht, ist mit der Vermessung der Elektrosensitivität in der Bevölkerung ohne gleichzeitige Messung von Beschwerden nicht geklärt.

1.2 Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf den Menschen

Drei mögliche Kausalmechanismen sind zur Erklärung des Phänomens „Elektrosensibilität“ denkbar: a) physikalisch: tatsächliche Beeinflussung körperlicher Funktionen durch EMF b) psychosomatisch: Bewusstsein des Vorhandenseins von EMF führt zu Symptomen c) konfundierende Faktoren bzw. methodische Probleme sind für die Symptome verantwortlich. Selbstverständlich besteht ein möglicher Erklärungszusammenhang auch in der Kombination aus a) und b).

Im folgenden Forschungsüberblick werden Studien mit unterschiedlichen methodologischen Ansätzen dargestellt, welche versuchten, einen möglichen Kausalzusammenhang zwischen verschiedenen Faktoren der elektrischen und magnetischen Felder und typischen Symptomen der elektromagnetischen Überempfindlichkeit aufzudecken. Epidemiologische und experimentelle Ansätze bergen hierbei ein unterschiedliches Aufdeckungspotenzial: Während erstgenannte mögliche konfundierende Variablen nachweisen können, sind experimentelle Studien in der Lage, durch Kontrolle von Störvariablen hinreichende Ursachen zu detektieren (Bergqvist 1998). Beide Ansätze fanden in Studien zu unspezifischen EMF-bezogenen Beschwerden Anwendung und werden im Folgenden getrennt dargestellt. Eine weitere methodologische Unterscheidung der Untersuchungen erschien sinnvoll. Der erste Abschnitt diskutiert Studienergebnisse, die aus Untersuchungen in der Allgemeinbevölkerung - ohne auf eine spezielle Gruppe von potenziell Überempfindlichen zu fokussieren - gewonnen wurden. Studien, die sich speziell mit (meist selbst diagnostizierten) Elektrosensiblen auseinandersetzen, werden im anschließenden Abschnitt gesondert betrachtet.

Dieser Überblick beschäftigt sich nicht mit dem potenziell gesundheitsschädigenden Einfluss von EMF im Hinblick auf schwere organische Krankheiten, wie er beispielsweise in Verbindung mit Krebserkrankungen oder verschiedenen neurologischen Krankheitsbildern (Alzheimer, amyotrophe Lateralsklerose) diskutiert wird, da diese „harten“ Endpunkte nicht

Teil des charakteristischen Krankheitsbildes der elektromagnetischen Überempfindlichkeit sind. Studien zu biologischen oder physiologischen Effekten werden – sofern sie nicht unmittelbar mit typischen EMF-bezogenen Beschwerden in Verbindung zu bringen sind – ausklammert.

1.2.1 Niederfrequenter Bereich

1.2.1.1 Epidemiologische Studien

Kopfschmerzen

Dowson und Mitarbeiter ((Dowson et al 1988)) fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen Kopfschmerzen und der Wohnnähe zu Hochspannungsleitungen, konnten jedoch keine Dosis-Reaktionsbeziehung im Sinne von zunehmendem Auftreten bei zunehmender Nähe zu Hochspannungsleitungen feststellen: Anwohner in einer mittleren Distanz zu den Leitungen (60 –80 m) litten deutlich mehr an Kopfschmerzen und Migräne als Personen, die näher oder weiter entfernt zu den Leitungen wohnten. Eine geringe Rücklaufquote sowie eine mangelhafte Confounderanalyse sind jedoch bei der Interpretation dieses positiven Ergebnisses zu berücksichtigen.

In zwei weiteren Studien konnten dagegen keine Zusammenhänge zwischen der Wohnnähe zu Hochspannungsleitungen und Kopfschmerzen eruiert werden ((McMahan and Meyer 1995); (Poole et al 1993)).

Depressive und neurasthenische Symptome

Dowson et al. (Dowson et al 1988) und Poole et al. (Poole et al 1993) untersuchten neben Kopfschmerzen auch das Auftreten von Depression bzw. depressiven Symptomen in der Nähe von Hochspannungsleitungen. Mittels eines telefonischen Interviews wurden von Poole und Mitarbeitern depressive Symptome erfragt, wobei die Befragten hinsichtlich ihrer Wohnumgebung als „nahe“ vs. „nicht nahe“ an einer Hochspannungsleitung lebend klassifiziert wurden. Für das Auftreten von depressiven Symptomen in der Nähe von Hochspannungsleitungen wurde ein erhöhtes relatives Risiko von 2.8 ermittelt. Die Analyse von konfundierenden Variablen (z. B. der Besorgnis hinsichtlich der Stromleitung) führte zu keiner Reduktion des Zusammenhangs. Während Dowson ebenfalls eine Assoziation zwischen Depression und der Nähe zu Starkstromleitungen berichtet (Dowson et al 1988), fallen die Ergebnisse bei McMahan et al. (McMahan et al 1994) negativ aus: Das relative Risiko der Anwohner in unmittelbarer Nähe zur Leitung gegenüber Bewohnern, die einen Häuserblock entfernt wohnten, betrug 0.9, zeigte sich also rechnerisch „protektiv“. In einem weiteren Bericht zu dieser Studie (McMahan and Meyer 1995) wurde ebenfalls ein fehlender Zusammenhang zwischen der Nähe zu Starkstromleitungen sowie gemessenen magnetischen Feldern (vor dem Haus) einerseits und den Symptomen mangelnder Appetit, Schlaf- und Konzentrationsproblemen andererseits berichtet. Das Chancenverhältnis dieser Symptome (einschließlich Kopfschmerzen) und der Nähe zu Leitungen belief sich auf 0.85, der Zusammenhang zwischen der *Besorgnis* über diese Leitungen und den gesundheitlichen Beschwerden stellte sich im Gegensatz dazu in einem OR von 2.24 dar. Beales Ergebnisse (Beale et al 1997) lassen ebenfalls einen Einfluss der Wahrnehmung vermuten.

Diverse Berufsgruppen, die einer erhöhten Exposition an Elektrizität ausgesetzt sind, wurden ebenfalls in epidemiologischen Untersuchungen berücksichtigt. Savitz et al. (Savitz et al 1994) untersuchten beispielsweise die Prävalenz von Depression unter Elektrizitätsarbeitern, wobei kein Unterschied im Krankheitsrisiko im Vergleich zu „Nicht-Elektrizitätsarbeitern“ festgestellt werden konnte. Allerdings fand sich in der Subgruppe der Elektroinstalla-

teure ein erhöhtes Risiko für Konzentrationsschwierigkeiten. Über die Berufsbezeichnung hinaus standen jedoch keine weiteren Informationen über das Ausmaß der Exposition zur Verfügung, andere potenzielle Einflussfaktoren der physikalischen Arbeitsumgebung (z. B. Lösungsmittel) wurden ebenfalls nicht in die Analyse mit einbezogen, so dass die Autoren vor generellen Schlussfolgerungen warnen. Eine Reihe älterer Untersuchungen an Arbeitern an Hochspannungsleitungen konnten keine Zusammenhänge zwischen Angst, Schlafproblemen, Müdigkeit und der Exposition gegenüber elektrischen Feldern zu Tage fördern ((Baroncelli et al 1986) (Broadbent et al 1985) (Knaive et al 1979)).

Bezüglich der Interpretation der Gesamtergebnisse aus den Untersuchungen zu niederfrequenten Feldern und depressiver Symptomatik sind methodologische Vorbehalte anzumerken. Zum einen benutzen die Autoren unterschiedliche Definitionen für ihre Untersuchungsendpunkte, so dass die Vergleichbarkeit dieser Studien grundsätzlich in Frage zu stellen ist. Zum anderen wird die Wahl der Untersuchungspopulation und die starke soziale Schichtung der Bevölkerung rund um Hochspannungsleitungen kritisch diskutiert (Bergqvist 1998). Zum aktuellen Zeitpunkt ist somit die Frage nach dem Einfluss von Faktoren wie Besorgnis und Wahrnehmung und/oder Schichtzugehörigkeit auf den möglichen Zusammenhang zwischen elektrischen Feldern von Hochspannungsleitungen und depressiven Symptomen nicht eindeutig zu klären.

Hautsymptome

Da erste Berichte zur Beeinflussung der Gesundheit durch EMF aus dem Bereich der Bildschirmarbeit in Zusammenhang mit Hautsymptomen stammen, setzte sich eine Reihe von epidemiologischen Studien speziell mit diesem Problem auseinander.

In Fallbeschreibungen ist generell von einem vorübergehendem Charakter der beklagten Hautsymptome die Rede, wobei oftmals von einem Nachlassen der Intensität in arbeitsfreien Phasen berichtet wird, z. B. über Nacht, während des Wochenendes (Berg 1988). In einer Follow-Up-Befragung von Betroffenen acht Monate nach dem ersten Untersuchungszeitpunkt berichteten 66 % von einem teilweisen bzw. vollständigen Rückgang der Beschwerden, obwohl der Großteil seine Tätigkeit am Bildschirm fortsetzte ((Berg et al 1989a)). Eriksson et al. (Eriksson et al 1997) machten in einer 5-jährigen Follow-Up-Studie eine ähnliche Beobachtung (Verschwinden der Symptome in 63 %). Interessanterweise waren Veränderungen am Arbeitsplatz oder in der elektrischen Umgebung bei den gesunden Patienten jedoch seltener anzutreffen als bei denjenigen, die nach fünf Jahren immer noch Symptome beklagten.

Mehrere epidemiologische Studien versuchten, die Zusammenhänge zwischen der Arbeit an Bildschirmen und den berichteten Hautsymptomen aufzuklären, von denen zwei beispielhaft dargestellt werden sollen. Berg und Mitarbeiter ((Berg et al 1989b)) versandten Fragebogen an zufällig ausgewählte Angestellte verschiedener Firmen in Schweden, um eine retrospektive Einschätzung (vergangene 2 Jahre) von Hautausschlägen und Hautsymptomen bei unterschiedlichen Expositionsgraden durch Bildschirmarbeit zu erhalten. Diese subjektiven Daten wurden ergänzt durch die ärztliche Beurteilung einer Stichprobe aus diesen Befragten, die per Zufallsauswahl zusätzlich zu einer klinischen Untersuchung eingeladen wurden. Die Ergebnisse hingen von den jeweils benutzten Beurteilungskriterien ab (subjektiv vs. objektiv). Die Analyse der Fragebogendaten ergab, dass Hautbeschwerden und Ausschläge von exponierten Personen signifikant häufiger berichtet werden. Die einzige klinische Diagnose aber, die signifikant häufiger in der Gruppe der stark Exponierten (mehr als 20 h/Wo. Bildschirmarbeit in mehr als 5 Jahren) beobachtet wurde, waren „unspezifische Hautsymptome“ – definiert als wenige sichtbare Anzeichen (kein oder nur milder Ausschlag) in Verbindung mit verstärkten subjektiven Symptomen wie Jucken oder Brennen der Haut. Die alleinige Beurteilung offen sichtbarer Symptome durch den Arzt, welche unmittelbar vor Beginn des Interviews vorgenommen wurde und subjektive Beschwerden nicht

mit einbezogen, erbrachte dagegen keine signifikant erhöhte Zunahme von objektiven Gesichtssymptomen in der hochexponierten Gruppe. Eine signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Ausmaß an Bildschirmarbeit und objektiven Hautanzeichen konnte ebenso wenig aufgedeckt werden.

Bergqvist und Wahlberg (Bergqvist and Wahlberg 1994) berücksichtigten in ihrer Studie nicht nur eine explizite Messung der elektrischen und magnetischen Felder am Arbeitsplatz, sondern auch eine Vielzahl möglicher konfundierender Variablen. Neben Hautkrankheiten und objektiven Symptomen, die von einem Dermatologen beurteilt wurden, umfassten die Analysen Fragebogendaten zu Hautsymptomen und -typen, individuellen Stressreaktionen und psychischen Arbeitsbedingungen (z. B. Möglichkeiten der Einflussnahme, Arbeitstempo- und Arbeitsbelastung). Zusätzlich wurden physikalische Variablen am Arbeitsplatz erhoben (neben den elektrischen und magnetischen Feldern z. B. relative Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur etc.). Ein erhöhtes relatives Risiko für die Diagnose eines seborrhöischen Ekzems, von Erythema und selbstberichteten Hautsymptomen wurde für Bildschirmarbeiter gefunden (verglichen mit Personen, die nicht an Bildschirmen tätig waren). Für Erythema und selbstberichtete Symptome konnte das erhöhte Auftreten jedoch teilweise durch spezifische Bedingungen erklärt werden, wobei diese Zusammenhänge speziell für Bildschirmarbeitsplätze galten: Eine Kombination aus hohem Arbeitstempo und begrenzter Ausruhmöglichkeiten war mit der Diagnose der unspezifischen Erythema assoziiert, eine erhöhte wahrgenommene Arbeitsbelastung ging mit einem erhöhten Risiko einher, Hautsymptome im Fragebogen zu berichten. Eine niedrige Luftfeuchtigkeit war ebenfalls mit einem erhöhten Auftreten des seborrhöischen Ekzems verbunden. Keine Zusammenhänge konnten dagegen zwischen den Messungen der elektrischen und magnetischen Felder und Hautproblemen (Krankheiten, objektive oder selbstberichtete Symptome) gefunden werden.

Sandström und Mitarbeiter (Sandström et al 1995) konnten ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen dem Expositionsniveau am Bildschirmarbeitsplatz und Hautbeschwerden nachweisen, allerdings standen die Beschwerden mit elektrischen Feldern in Verbindung, die in anderen Bereichen des Büros gemessen wurden.

Bestimmte psychosoziale Bedingungen, insbesondere mangelnde Unterstützung durch Mitarbeiter, waren in einer Studie von Eriksson et al. (Eriksson et al 1997) mit einem erhöhten Risiko für das Berichten von Hautsymptomen assoziiert.

Die Zusammenschau verschiedener epidemiologischer Studien führt zu dem Schluss, dass selbstberichtete, subjektive Hautsymptome unter Bildschirmarbeitern deutlich häufiger anzutreffen sind als unter Kontrollpersonen. Objektive Anzeichen bzw. diagnostizierte Hautkrankheiten scheinen dagegen weniger eindeutig mit der Tätigkeit an Bildschirmen in Verbindung zu stehen. Die meisten diagnostizierten Krankheiten sind von milder Ausprägung (z. B. 86 % nach (Bergqvist and Wahlberg 1994)), oftmals kann ein Rückgang der Beschwerden ohne Abhilfemaßnahmen verzeichnet werden. Bestätigungen der Hypothese, dass elektrische oder magnetische Felder per se Hautprobleme verursachen, konnten dagegen in den meisten Studien nicht gefunden werden. Ein offener Diskussionspunkt ist nach Bergqvist et al. (Bergqvist et al 1997) jedoch die Möglichkeit der Wirkung elektrostatischer Ladungen in Zusammenhang mit Bildschirmarbeit, welche in Form von Ablagerungen kleinster Luftpartikel auf der Haut zu Irritationen führen könnten (Cato Olsen 1981). Einige neuere Interventionsstudien, in denen elektrostatische Ladungen reduziert wurden, scheinen diese Hypothese eher zu stärken (z. B. (Ofstedal et al 1995)). Darüber hinaus sind deutliche Hinweise gegeben, dass andere Variablen der physikalischen und psychischen Umwelt an Bildschirmarbeitsplätzen wie z. B. niedrige Luftfeuchtigkeit oder Stress – Gegebenheiten, die allgemein als Einflussfaktoren für Hautbeschwerden akzeptiert sind – stärker bei der Entwicklung von Hautsymptomen in den untersuchten Arbeitssituationen involviert sind als dies für elektrische und magnetische Felder nachgewiesen ist.

Berg und Mitarbeiter (Berg et al 1992) entwickelten anhand einer psychophysiologischen Untersuchung von Bildschirmarbeitern ein Erklärungsmodell für das Erleben von Hautbeschwerden. Der Nachweis einer erhöhten Konzentration von Stresshormonen in Verbindung mit einer erhöhten subjektiven Stressbelastung bei Personen mit Hautbeschwerden verglichen mit beschwerdefreien Kollegen (obwohl beide Gruppen im selben Ausmaß an Bildschirmen tätig waren) wird von den Autoren im Sinne eines stressvermittelten, EMF-unabhängigen Verursachungsmechanismus interpretiert: Viele Angestellte, die an Computern arbeiten, leiden an beruflichem Stress, welcher auf einer physiologischen Ebene zu einem erhöhten Metabolismus und gesteigertem Blutfluss in der Haut führt. Die gesamte physikalische und psychologische Arbeitsumgebung übernimmt im Laufe eines Lernprozesses die Rolle des konditionierten Stimulus, der in der Folge die konditionierten psychophysiologischen Reaktionen auslöst.

Allerdings bleibt zu erwähnen, dass der Großteil der hierzu durchgeführten Untersuchungen aus Schweden, zu einem kleineren Teil aus Norwegen stammt. Studien aus anderen Ländern sind nur begrenzt vorhanden, zudem liefern sie inkonsistente Ergebnisse. Dies mag mit einem begrenzten Auftreten dieses Problems außerhalb Schwedens/Norwegens zusammenhängen – Indizien hierfür finden sich auch in den Ergebnissen der europaweiten Fragebogenerhebung von Bergqvist et al. (Bergqvist et al 1997). Möglicherweise sind gar die als moderierende Variablen identifizierten Einflussgrößen wie niedrige Luftfeuchtigkeit und unterschiedliche Hauttypen für derartige länderspezifische Unterschiede verantwortlich (Bergqvist et al 1997).

1.2.1.2 Experimentelle Studien

Herzfunktionen

In mehreren experimentellen Untersuchungen standen Effekte von elektrischen und magnetischen Feldern auf das Elektrokardiogramm und auf die Pulsrate im Zentrum des Interesses. Da ES-Betroffene immer wieder Herzsymptome (wie z. B. starkes Herzklopfen) beklagen, könnten Ergebnisse aus diesen Studien mögliche Implikationen für derartige unspezifische Symptome liefern. Graham und Mitarbeiter entdeckten in einem Laborversuch zur Beeinflussung physiologischer Vorgänge während des Schlafes eine signifikante Verlängerung des Intervalls zwischen zwei Herzschlägen durch den Einfluss von 60 Hz elektrischen (9 kV/m) und magnetischen Feldern (20 μ T) (Graham et al 1987). Cook und Mitarbeiter konnten ebenfalls einen Rückgang der Herzfrequenz beobachten (Cook et al 1992). Ein Interaktionseffekt mit der Reihenfolge der Expositions- und Placebodurchgänge lassen in dieser Studie jedoch unterschiedliche Interpretationen zu und es wird nicht klar, ob es sich um einen reinen Reihenfolge- oder einen Reihenfolge- und Expositionseffekt handelt. Korpinen und Partanen (Korpinen and Partanen 1994) wandten in ihrer Studie geringere Expositionsniveaus (3-4 kV/m und 1-7 μ T) an, konnten jedoch keine Veränderungen der Herzfrequenz unter 50 Hz ausfindig machen. Die Untersuchung der Herzschlagfrequenz ergibt ein recht inkonsistentes Bild hinsichtlich der möglichen Beeinflussung durch elektrische und magnetische Felder. Wenn auch einige Studien auf biologische Effekte hindeuten, bleibt jedoch die Kernfrage, ob diese Effekte gesundheitsschädigend sind, weiterhin ungeklärt.

Melatonin

Da dem Zirbeldrüsenhormon Melatonin eine – wenn auch derzeit noch nicht gänzlich geklärte – Rolle bei der Steuerung des Schlaf-Wach-Rhythmus zugeschrieben wird, wurde vielfach die Hypothese diskutiert, dass die Beeinflussung des Melatonin-Haushaltes durch elektrische und magnetische Felder Veränderungen in der Schlafphysiologie hervorrufen und nicht zuletzt auch unspezifische Symptome wie Schlafstörungen, Tagesmüdigkeit und Konzentrationsschwäche verursachen könnte.

Graham und Mitarbeiter untersuchten in zwei doppelblinden Laborversuchen den Einfluss von intermittierenden 60 Hz magnetischen Feldern bei unterschiedlichen Feldstärken auf die nächtliche Melatonin-Konzentration im Blut. Eine Beeinflussung des Melatonin-Niveaus konnte jedoch nicht gefunden werden. In einer weiteren Studie, in der die Versuchspersonen einer kontinuierlichen Magnetfeldexposition unterzogen wurden, waren ebenfalls keine Änderungen der Serum-Melatoninkonzentration nachweisbar (Graham, Cook & Riffle, 1997).

Schlaf

Die Erhebung objektiver Schlafmaße unter Einfluss niederfrequenter Felder war bisher nur selten Gegenstand von Untersuchungen. Akerstedt et al. (Akerstedt et al 1999) führten eine Doppelblind-Studie durch, um Auswirkungen einer nächtlichen, kontinuierlichen Exposition gegenüber einem 50 Hz, 1 μ T magnetischen Feld auf das Schlaf-EEG zu untersuchen. Verglichen mit der expositionsfreien Kontrollbedingung wurde eine signifikante Verringerung der Schlafdauer in den Schlafphasen III und IV beobachtet, d. h. der Slow Wave Sleep war nachweislich verkürzt. Von den zusätzlich erhobenen Fragebogenparametern erwies sich nur die subjektiv bewertete Schlaftiefe als signifikant reduziert. Die Autoren betonen jedoch, dass die gefundenen Effekte absolut im Rahmen normaler Schlafwerte liegen.

In einem ähnlichen Laborversuch, jedoch mit einem differenzierteren Versuchsaufbau untersuchten Graham & Cook (Graham and Cook 1999) den Einfluss von zwei unterschiedlichen Feldbedingungen – eines intermittierenden (1h an – 1h aus) vs. kontinuierlichen 60 Hz, 28.3 μ T Feldes – auf EEG-Maße des nächtlichen Schlafes. Die Versuchspersonen, die einem intermittierenden magnetischen Feld ausgesetzt waren, zeigten deutliche Veränderungen in verschiedenen Schlafparametern (reduzierte Schlafdauer, reduzierte Schlaffeizienz, verlängerte Phasen im Stadium II sowie verringerte REM-Schlaf-Dauer), beschrieben sich darüber hinaus als weniger ausgeruht und berichteten einen schlechteren Schlaf. Diese Effekte fanden sich nicht in der kontinuierlichen und der Kontrollbedingung. Graham und Cook diskutieren ihre Ergebnisse insbesondere im Hinblick auf mögliche Auswirkungen des reduzierten REM-Schlafes auf die mentale Gesundheit. Während sich einerseits Veränderungen des REM-Schlafes in verminderten Gedächtnisfunktionen und Lernprozessen niederschlagen (z. B. (Crick and Mitchison 1995)), wird andererseits die Unterdrückung des REM-Schlafes auch zu therapeutischen Zwecken (z. B. in der Behandlung von depressiven Patienten) eingesetzt. In Ermangelung der Berücksichtigung kognitiver Variablen können jedoch aus dieser Untersuchung keine Schlussfolgerungen zu sekundären schädlichen Einflüssen von magnetischen Feldern auf Informationsverarbeitungsprozesse gezogen werden.

Kognitive Funktionen

Trimmel und Schweiger (Trimmel and Schweiger 1998) untersuchten in einem Doppel-Blind-Versuch den Einfluss eines extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldes (59 Hz, 1 μ T) auf Leistungsmaße unterschiedlicher kognitiver Variablen (Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Gedächtnis), indem sie die Versuchspersonen während der Testung diesem Feld in Verbindung mit einem Rauschen (45 dB) (EMF+Noise) oder nur dem Rauschen (Noise) sowie der Kontrollbedingung (weder EMF noch Rauschen) aussetzten. Die Analysen ergaben eine signifikant reduzierte Aufmerksamkeits-, Wahrnehmungs- und Gedächtnisleistung in der Bedingung EMF+Noise. (Wegen des doppelblinden Versuchsdesigns sowie des Fehlens dieser Effekte in der Noise-Bedingung können diese Effekte nach Meinung der Autoren nicht auf das Wissen der Vp's um die EMF-Exposition zurückgeführt werden.) Da das Feld jedoch nicht der einzige Expositionsfaktor war, räumen sie allerdings eventuelle Interaktions- bzw. Akkumulationseffekte ein, die durch die kombinierte Exposition an EMF und Rauschen verursacht werden könnten. Wurden die Versuchspersonen ihrer Selbsteinschätzung zufolge in EMF-sensibel vs. nicht sensibel unterteilt, blieben diese Effekte nur in der Gruppe der Sensiblen erhalten.

In zwei weiteren Doppelblind-Studien wurden die Auswirkungen intermittierender bzw. kontinuierlicher 50 Hz-Magnetfelder (100 μ T) auf psychologische und psychophysiologische Parameter untersucht (Crasson et al 1999). Die Feldprovokation, die jeweils über eine am Kopf applizierte Apparatur durchgeführt wurde, hatte Veränderungen in elektrophysiologischen Prozessen zur Folge, die mit der selektiven Aufmerksamkeit in Verbindung stehen.

Die Zusammenschau einer Vielzahl von Studien zu Effekten der Magnetfeldexposition auf sensorische, perzeptuelle und kognitive Leistungsvariablen förderte eine hohe Variabilität hinsichtlich Methodologie und Ergebnissen zu Tage (Cook et al 2002). Ein spezifischer Effekt schien sich jedoch herauszukristallisieren: In einigen Studien wurde genau dann eine Beeinflussung perzeptueller und kognitiver Aktivitäten durch Magnetfeldexposition verzeichnet, wenn die Aufgabenschwierigkeit zunahm. Derartige Befunde sind jedoch im Hinblick auf gesundheitsschädigende Effekte schwer zu interpretieren.

1.2.2 Hochfrequenter Bereich

Nachdem der Gebrauch von Mobiltelefonen in den vergangenen Jahren drastisch zugenommen und auch Beschwerden in Zusammenhang mit deren Nutzung laut geworden sind, beschäftigten sich einige neuere Studien mit möglichen Auswirkungen hochfrequenter Strahlung. Effekte durch Erwärmung gelten mittlerweile als unbestritten, doch im Hinblick auf unspezifische subjektive Beschwerden durch Mobilfunkbenutzung erscheint die Forschungslage weniger klar. Zwar wird von einigen Forschern Hochfrequenzstrahlung nicht zum Krankheitsbild der ES zugerechnet (Harlacher and Schahn 1998), durch die wachsende Beunruhigung in der Bevölkerung hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen – wie sie beispielsweise in Bürgerinitiativen gegen die Installation von neuen Basisstationen sichtbar wird – wird mittlerweile aber auch seitens der Wissenschaft den Wirkungen hochfrequenter Felder ein zunehmendes Interesse zugebilligt. Der folgende Überblick konzentriert sich auf diejenigen Untersuchungsvariablen, die für die Diskussion um unspezifische Beschwerden unmittelbar von möglicher Bedeutung sind.

1.2.2.1 Epidemiologische Studien

Bereits in den 60er und 70er Jahren wurden in der sowjetischen und osteuropäischen Literatur Berichte veröffentlicht, wonach militärisches Personal und andere chronisch Radiofrequenzfeldern ausgesetzte Arbeiter an verschiedenen neurasthenischen Symptomen und funktionalen Störungen des Nerven- und kardiovaskulären Systems litten.

Kolmodin-Hedman et al. (Kolmodin-Hedman et al 1988) untersuchten speziell eine Gruppe von Plastikschweißern, welche einer extrem erhöhten Radiofrequenz-Exposition am Arbeitsplatz ausgesetzt waren. Taubheit in den Händen wurde von den Plastikschweißern signifikant häufiger beklagt als von der Kontrollgruppe – ein Befund, der ebenfalls von Bini (Bini et al 1986) berichtet wird – neurasthenische Symptome waren nur tendenziell erhöht, speziell Kopfschmerzen und Müdigkeit traten bei den Exponierten jedoch nicht in verstärktem Maße auf.

Eine norwegisch-schwedische Studie zu subjektiven Symptomen unter Mobilfunkbenutzern berichtete ein erhöhtes Risiko für das Erleben von Beschwerden bei längerer Gesprächsdauer und größerer Anzahl an Anrufen pro Tag. Besonders ausgeprägt war dieser Effekt in Bezug auf das Wärmeempfinden im Ohrbereich und bei den vegetativen Symptomen Kopfschmerzen und Müdigkeit (Mild 1998).

Eine umfassende Untersuchung zu möglichen Gesundheitsbeeinträchtigungen des Kurzwellensenders Schwarzenburg (Schweiz) wurde infolge einer Petition besorgter Anwohner durchgeführt (Altpeter et al 1995). Der Umkreis des Senders wurde nach Entfernung und Signalexposition (6.1 – 21.8 MHz) in drei Zonen (A, B, C) eingeteilt, wobei Zone C mehrere Kilometer vom Sender entfernt lag und die Feldmessung ein dem normalen Hintergrundwert ähnliche Exposition ergab. Die unter Bewohnern dieser drei Zonen durchgeführten Interviews erbrachten eine signifikant erhöhte Rate an Schlafstörungen mit zunehmender Nähe zum Senderstandort, ferner waren psychovegetative Symptome wie Nervosität, allgemeine Schwäche und Müdigkeit, Kopf- und Gliederschmerzen in nahegelegeneren Zonen häufiger. In zwei weiteren Untersuchungsphasen wurden experimentelle Variationen der Sendertätigkeit (Richtungsänderung oder Abschalten) durchgeführt und diese mit Tagebuchaufzeichnungen der Anwohner verglichen. Die zufälligen Änderungen der Senderichtung waren mit der Häufigkeit der Schlafstörungen korreliert, nach dem unangekündigten Abschalten des Senders folgte mit eintägiger Verzögerung eine signifikante Verbesserung der Schlafqualität, wie anhand der persönlichen Aufzeichnungen der Studienteilnehmer nachvollzogen werden konnte. Die Unterbrechung der Sendertätigkeit war allerdings nicht mit Veränderungen im Melatoninspiegel gekoppelt, was zunächst als Erklärungsmechanismus für den Zusammenhang zwischen den Schlafstörungen und der EMF-Einwirkung vermutet wurde (Stark et al 1997). Die Autorengruppe gelangt nach 10jähriger Forschungstätigkeit zu einem –was den kausalen Nachweis anbelangt- eher skeptischen Rückblick über die Möglichkeiten umweltepidemiologischer Forschung (Altpeter et al 2000).

1.2.2.2 Experimentelle Studien

Bestimmte Schlafparameter erwiesen sich in einigen Studien durch den Einfluss von hochfrequenter Strahlung als beeinträchtigt. Röschke und Mann (Röschke and Mann 1998) konnten in einem doppelblinden Laborversuch Auswirkungen von Radiofrequenzfeldern auf den Schlaf nachweisen. Die achtstündige nächtliche Provokation durch ein GSM-Mobiltelefon (900 MHz), welches am Kopfende des Bettes angebracht wurde, hatte im Vergleich zu der Nacht ohne Exposition eine signifikante Reduktion der Einschlafzeit sowie eine Verkürzung der REM-Schlaf-Phasen zur Folge. Parallel dazu wurde auch eine qualitative Veränderung des Schlaf-EEG's unter Feldeinfluss festgestellt. Mann und Röschke interpretieren diese Befunde als Hinweis auf einen REM-Schlaf unterdrückenden Effekt des Hochfrequenzfeldes, was wiederum mit Veränderungen in Lern- und Gedächtnisfunktionen verbunden sein könnte. Da jedoch kognitive Funktionen in dieser Studie unberücksichtigt blieben, können diesbezügliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen vorerst nicht gezogen werden. Entsprechend der subjektiven Einschätzung der Versuchspersonen konnten keine negativen Auswirkungen des Feldes auf den Schlaf vermerkt werden: Die subjektive Schlafqualität wie auch die Wachheit am Morgen wurde nach der Expositionsnacht nicht schlechter beurteilt, sie schätzten sich vielmehr signifikant ruhiger ein als nach der expositionsfreien Nacht.

In einer Follow-Up-Studie, in der die Homogenität des Feldes verbessert wurde, wurden die Effekte auf den REM-Schlaf nicht bestätigt (Wagner et al 1998) (Wagner et al 2000b) (Wagner et al 2000a).

Preece und Mitarbeiter (Preece et al 1999) untersuchten die Wirkung eines simulierten Mobilfunkgespräches (915 MHz/ analog oder gepulst) auf zahlreiche kognitive Funktionen (z. B. Wiedergabe aus dem Gedächtnis, Wiedererkennen). Lediglich das digitale Signal führte zu einem nachweisbaren Effekt, nämlich einer signifikanten Verringerung der Auswahl-Reaktionszeit (d.h. der Zeit, die benötigt wurde, um auf ein Ja oder Nein auf dem Bildschirm zu reagieren). Effekte auf andere Leistungsmaße wurden nicht gefunden.

Koivisto et al. (Koivisto et al 2000b) berichten ebenfalls von einer erhöhten Verarbeitungsgeschwindigkeit in einfachen Reaktionszeitaufgaben, Vigilanztests sowie mentalen Rechenaufgaben bei Provokation mit einem Mobilfunksignal (902 MHz, gepulst mit 217 Hz), darüber hinaus wurde in der Feldbedingung eine höhere Genauigkeit im Vigilanztest erzielt (weniger ‚False Alarms‘). In einer Folgestudie wurden wiederum erleichternde Effekte auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit durch eine entsprechende GSM-Signal-Exposition beobachtet, jedoch in Abhängigkeit von der kognitiven Beanspruchung: Nur auf der höchsten Schwierigkeitsstufe der Arbeitsgedächtnisaufgabe waren die Antwortzeiten im Vergleich zur expositionsfreien Bedingung verkürzt (Koivisto et al 2000a).

Dieselbe Arbeitsgruppe veröffentlichte auch eine experimentelle Studie zu den Auswirkungen von Radiofrequenzfeldern auf subjektive Symptome (Koivisto et al 2001). In zwei Doppelblindversuchen wurden die Probanden 30 Minuten bzw. 60 Minuten lang einem gepulsten Radiofrequenzfeld eines GSM-Mobiltelefons ausgesetzt, wobei sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der On-/Off-Phasen subjektive Symptome in ihrer empfundenen Intensität beurteilen sollten. Keines der Symptome – Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Jucken oder Kribbeln der Haut, Erröten und Wärmeempfinden auf der Haut – wurde in der Expositionsbedingung intensiver erlebt. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu Berichten von Hocking (Hocking 1998), wonach Mobilfunkbenutzer Beschwerden bereits innerhalb von 5 Minuten nach Nutzung des Mobiltelefons beklagten. Obwohl einige oben zitierte Studien messbare Einflüsse von Radiofrequenzfeldern auf menschliche Hirnfunktionen nachweisen konnten, gibt es laut dieser Untersuchung keine Hinweise darauf, dass Radiofrequenzfelder von GSM-Mobiltelefonen subjektive Symptome hervorrufen.

Schlussfolgerungen der Hochfrequenzuntersuchungen

Auch hier gilt: Die beschränkte Stichprobengröße, das Fehlen adäquater Kontrollen, wie auch die äußerst unterschiedlichen Expositionsbedingungen lassen generelle Schlussfolgerungen zum aktuellen Zeitpunkt nicht zu.

1.3 Personen mit spezifischer Sensibilität

Im obigen Abschnitt wurden Studien diskutiert, deren untersuchte Stichproben aus der Allgemeinbevölkerung rekrutiert wurden und deren Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen EMF und Beschwerden auf statistischen Analysen beruhen. Diese Studien bergen jedoch die Gefahr, dass die Existenz einer kleinen Gruppe von überempfindlich auf EMF reagierenden Personen überdeckt wird. Um den Beweis einer kausalen Rolle von EMF bei der Verursachung von Beschwerden in speziell empfindlichen Personen antreten zu können, müssen jedoch diese überempfindlichen Personen zunächst identifiziert werden.

1.3.1 Problem der Diagnostik

Ein Großteil der Studien verließ sich auf die Selbstdiagnose Betroffener, also auf die Behauptung, angesichts bestimmter EMF-Quellen mit verschiedenen Symptomen zu reagieren. Die Tatsache jedoch, dass allein im klinischen Erscheinungsbild der Elektrosensibilität eine enorme Bandbreite an verschiedenen Symptomkonstellationen und Schweregraden vorherrscht, macht deutlich, dass es sich hierbei um kein homogenes Störungsbild handelt. Es existieren in der Literatur verschiedenste Versuche, die Gruppe der Elektrosensiblen genauer zu differenzieren bzw. charakterisieren.

In Anlehnung an klinische Beobachtungen, wonach Patienten mit ausschließlich Hautsymptomen eine bessere Prognose erhielten als Patienten mit multiplen Symptomen attribuiert auf Elektrogeräte, teilte Bergdahl (Bergdahl 1995) seine Untersuchungsgruppe je nach Attribution ihrer Symptome in eine VG- und EG-Gruppe ein: Patienten der VG-Gruppe führ-

ten ihre Symptome auf Bildschirme, Fernseher und Neonbeleuchtung zurück, diejenigen der EG-Gruppe darüber hinaus auf diverse andere elektrische Quellen (wie z. B. Kabel, Öfen etc.). Die VG-Gruppe berichtete in dieser Studie durchgehend Hautsymptome, jedoch seltener neurasthenische (z. B. Müdigkeit, (Kopf)Schmerzen und Schwindel) und orale Symptome (Geschmacksstörungen), während hingegen die EG-Gruppe eine weit größere Vielfalt und Häufigkeit in den diversen Symptomgruppen angab (so z. B. auch Gedächtnisprobleme, Herzklopfen, gastrointestinale Symptome, Zahnschmerzen, erhöhter Speichelfluss etc.). Der Vergleich des psychologischen Profils mit einer Kontrollgruppe ergab in der VG-Gruppe einen signifikant erhöhten Wert in den Skalen ‚Muskelspannung‘ und ‚Somatische Angst‘ der Karolinska Scales of Personality, was die Autoren als Hinweis auf eine erhöhte Somatisierungstendenz unter Stress deuten. Die EG-Gruppe wies neben den eben genannten Skalen durch ebenfalls erhöhte Werte in der Psychasthenie-Skala und niedrigere Werte in der Sozialisationsskala ab, und erwies sich darüber hinaus in weiteren psychologischen Funktionsskalen als beeinträchtigt (z. B. vermehrte Schwierigkeiten beim Ergreifen von Initiative, beim Empfinden von Freude; seltenere Kontakte nach außen etc.). Dies wiederum betrachten die Autoren als Hinweise für eine unbefriedigende soziale Anpassung und Isolation im privaten und beruflichen Leben. Wenn auch andere Studien ähnliche Resultate hinsichtlich der Heterogenität der Symptome in potenziellen Subgruppen von ES-Betroffenen ergaben (z. B. (Klave et al 1989)), können generelle Schlussfolgerungen vor allem hinsichtlich der psychologischen Einflussfaktoren der ES zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht gezogen werden. Schließlich ist auch die Interpretation denkbar, dass Aspekte des Sozialverhaltens, wie sie bei Bergdahl berichtet werden, eine *Konsequenz* und nicht notwendigerweise eine Ursache der ES sein könnten.

Hillert und Mitarbeiter (Hillert et al 1999) konnten mittels eines eigens entwickelten „Hautindex“ Gruppen von Elektrosensiblen mit unterschiedlichen Schweregraden identifizieren. Dieser Index basierte auf den drei am häufigsten berichteten Hautsymptomen Brennen, Kribbeln und Rötung. Elektrosensible Personen, die wegen ihrer Beschwerden medizinische Hilfe aufsuchten, scorten signifikant höher im Vergleich zu Personen, die sich in einem Fragebogen als elektrosensibel bezeichneten. Letztere wiederum erzielten verglichen mit einer Kontrollgruppe einen signifikant erhöhten Wert. Hillert et al. schlagen vor, diesen Index zusammen mit einem neurovegetativen Index (basierend auf den Symptomen Konzentrationsschwierigkeiten, Müdigkeit und Kopfschmerzen) sowie den Dimensionen Krankheitsglauben an ES, auslösende Faktoren (Bildschirm, Licht, andere Quellen), zeitliche Aspekte der Symptome (Dauer, akut vs. chronisch) und Verhalten (Vermeidung, Krankschreibungen) zur klinischen Charakterisierung von Elektrosensiblen einzusetzen.

Andere diagnostische Ansätze in Bezug auf histopathologische Untersuchungen (Berg et al 1989a) sowie Untersuchungen zum Hormon- und Melatoninhaushalt (Andersson et al 1996) lieferten bis auf vereinzelte Fallberichte keine gesicherten Hinweise auf charakteristische Eigenheiten von ES-Betroffenen.

Trotz der diskutierten Inhomogenität im Krankheitsbild der Elektrosensibilität wird beim nachfolgenden Studienüberblick auf eine getrennte Darstellung der beiden Subgruppen (vornehmlich Bildschirmgeschädigte vs. allgemeine Elektrosensibilität) verzichtet. Ein Grund hierfür ist die von vornherein gegebene Überlappung der beiden Gruppen: Personen mit Hautbeschwerden infolge von Bildschirmarbeit interpretieren dies teils als ES, andere wiederum, die sich als elektrosensibel bezeichnen, berichten vom Beginn ihrer Haut- und anderen Beschwerden in einer Arbeitssituation mit Bildschirmen. Darüber hinaus geben viele Studien nur wenige Informationen zur untersuchten Stichprobe, so dass eine genaue Charakterisierung der Versuchspersonen nicht möglich ist. Mögliche Variationen in der Bezeichnung unterschiedlicher Betroffener über die Jahre hinweg erschweren ebenfalls eine genaue Abgrenzung. Der Fokus bei der Zusammenschau der folgenden Studien liegt also vielmehr darauf, dass allgemein Personen mit einer selbst erklärten Beeinträchtigung durch EMF die untersuchte Stichprobe darstellten. Im Gegensatz zu den oben berichteten Unter-

suchungen an Personen mit leichten (Haut-)Beschwerden oder an Personen aus der Allgemeinbevölkerung ohne spezifische Sensibilität ermöglicht die Untersuchung von schwerwiegend ES-Betroffenen einen anderen Zugang zur Klärung eines möglichen kausalen Zusammenhangs zwischen unspezifischen Symptomen und EMF.

1.3.2 Provokationsstudien

Da elektrosensible Personen Symptome in Situationen berichten, in denen die Mehrheit der Allgemeinbevölkerung keinerlei Beeinträchtigung erfährt, liegt die Hypothese nahe, dass diese Individuen aufgrund ihrer angeblich erhöhten Empfindlichkeit gegenüber EMF-Quellen diese auch eher wahrnehmen können. Im Rahmen von Provokationsexperimenten, in denen ES-Betroffene verdeckten EMF-Quellen ausgesetzt werden, wurde diese Hypothese vielfach untersucht.

Nachdem Swanbeck und Bleeker 1989 (Swanbeck and Bleeker 1989) den ersten Bericht über eine Provokationsstudie veröffentlicht hatten, in der kein eindeutiger Effekt von EMF auf Hautsymptome nachgewiesen werden konnte, wurden in den darauffolgenden Jahren zahlreiche experimentelle Studien mit unterschiedlichen Expositionsettings konzipiert, welche die Fähigkeit elektrosensibler Personen zur Aufdeckung der Feldexposition sowie das Erleben subjektiver Symptome unter kontrollierten Expositionsbedingungen zu bestimmen versuchten.

Die viel zitierte Studie von Andersson et al. (Andersson et al 1996) soll hier beispielhaft beschrieben werden:

Aus einer Stichprobe von Patienten, die sich an Arbeitsmediziner oder dermatologische Kliniken wandten, wurden 17 Personen ausgewählt, welche folgende Einschlusskriterien erfüllten: Erleben von typischen ES-Symptomen in Gegenwart von elektrischen Quellen seit mind. sechs Monaten, deutliche Einschränkungen im alltäglichen Leben durch die Krankheit, keine behandlungsbedürftige anderweitige somatische oder psychiatrische Störung und Auftreten der Reaktionen innerhalb von 30 Minuten in einer offenen Testprovokation. Als EMF-Quelle diente ein vollständig maskierter Computer, der in einem hinsichtlich Hintergrundfeldstärken kontrollierten Labor platziert war. Die Versuchspersonen durchliefen mindestens vier 30-minütige Provokationssitzungen vor diesem Computer, wobei das Feld in einem doppelblinden Design zufällig an- und ausgeschaltet war. Untersucht wurden die Einschätzungen der Versuchspersonen hinsichtlich des Aktivitätsstatus der EMF-Quelle, das Erleben von Symptomen vor und nach der Provokation sowie die Konzentration von Stresshormonen (wie z. B. Prolactin, Cortisol) im Blut.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse: Die Versuchspersonen konnten nicht überzufällig häufig zwischen der tatsächlichen Provokationsbedingung (Feldquelle an) und der Scheinbedingung (Feldquelle aus) unterscheiden. Die Reaktionen der Versuchspersonen zeigten keinen Zusammenhang mit der Anwesenheit des Feldes, vielmehr war ihr Symptomerleben mit ihrer persönlichen Einschätzung des Aktivitätsstatus der Quelle gekoppelt: Sie beurteilten ihre Symptome als intensiver, wenn sie die Quelle als eingeschaltet vermuteten. Eine Beeinflussung der Hormonkonzentrationen in Abhängigkeit vom Feldstatus konnte nicht nachgewiesen werden. Die Autoren ziehen aus diesen Ergebnissen den Schluss, dass die elektrosensiblen Personen nicht auf elektrische und magnetische Felder reagierten.

Von zehn Provokationsstudien, die von der europäischen Expertengruppe in ihrem Bericht für die Europäische Kommission (Bergqvist, Vogel et al. 1997) zusammengetragen wurden, ergaben acht ein ähnliches Bild: Die elektrosensiblen Patienten waren nicht in der Lage, die Anwesenheit von Feldern konsistent zu erkennen, ein Zusammenhang zwischen faktischer Feldexposition und dem Symptomerleben konnte nicht festgestellt werden (Hamnerius et al

1993); (Sandström et al 1993); (Swanbeck and Bleeker 1989); (Andersson et al 1996); (Hamnerius and Sjöberg 1994); (Helbom 1993); (Wennberg et al 1994); (Wang et al 1994)).

Neuere Studien ((Lonne-Rahm et al 2000); (Müller et al 2002)) erbrachten ebenfalls keine Hinweise auf eine erhöhte Wahrnehmungsfähigkeit elektrosensibler Personen für elektrische und magnetische Felder. Lonne-Rahm et al. sprechen in ihrer Studie von einem sog. „Erwartungseffekt“: Während einerseits das Wissen (bei offener Provokation) oder die Vermutung (bei blinder Provokation), dass sie Feldern ausgesetzt waren, bei den Versuchspersonen zu einem verstärkten Auftreten von subjektiven Symptomen führte, waren andererseits Unterschiede im Symptomerleben zwischen On- und Off- Bedingungen in den Blind-Testungen nicht gegeben (vergleiche auch (Andersson et al 1996)).

Die Studie von Rea und Mitarbeitern (Rea et al 1991) zählt zu den wenigen Untersuchungen, die eindeutige Reaktionen auf Feldprovokationen berichten kann. Die Stichprobe bestand hierbei aus einer Gruppe von MCS-Patienten (Multiple Chemical Sensitivity), die angaben, zusätzlich an Elektrosensibilität zu leiden. Die Autoren führten zunächst in einer nach Störfaktoren (u. a. chemische Verunreinigungen, externe EMF) bereinigten Umgebung Baselineerhebungen durch, in denen sie verschiedene physiologische Parameter (Blutdruck, Pulsfrequenz), das Symptomerleben sowie das autonome Nervensystem (mittels eines Iriscorders, der Pupilleneinengung/-erweiterung erfasste) testeten. In einem mehrphasigen Versuchsablauf wurden jeweils Personen herausgefiltert, die auf die 3-minütigen Provokationen mit Frequenzen der Bereiche 0,1 bis 100 Hz, 1kHz bis 100 kHz sowie 1 MHz bis 5 MHz positiv reagierten, jedoch überhaupt nicht bzw. maximal einmal auf die Placebo-Provokationen. Als „positive“ Reaktion galt die Erhöhung der Anzahl und/oder der Intensität der Symptome auf über 20 % des Baseline-Niveaus bzw. eine Veränderung im Iriscorder um zwei Standardabweichungen. Auf diese Weise wurden in einem ersten Einzelblind-Versuch aus 100 sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Patienten 25 „positiv“ reagierende Personen identifiziert, welche in einem nächsten Schritt in einem Doppelblind-Versuch mit 25 Freiwilligen verglichen wurden. Schließlich wurden diejenigen 16 Personen, die in diesem Doppelblindversuch nachweisliche Reaktionen zeigten, in einem letzten Schritt nochmals mit der Frequenz provoziert, auf die sie am stärksten reagiert hatten. Während diese Personen auf die Placeboprovokationen keine Reaktionen zeigten, erlebten sie auf die tatsächliche Provokation hin verschiedenste Symptome: So wird z. B. von einem Absinken der Lungenfunktion um 20 %, einem Anstieg der Pulsfrequenz um 40 %, sowie von muskuloskeletalen (z. B. Krämpfen), gastrointestinalen (z. B. Übelkeit), dermalen (z. B. Brennen), respiratorischen (z. B. Atemnot) Symptomen etc. berichtet. Die meisten Reaktionen waren neurologischer Art (u. a. Kopfschmerz, Schwindel, sogar Bewusstlosigkeit). Die Autoren schlussfolgern aus diesen Ergebnissen, dass elektromagnetische Empfindlichkeit unter kontrollierten Bedingungen ausgelöst werden kann. Deutliche Mängel an der Informationsaufbereitung zu dieser Studie (ungenau Beschreibung der Expositionsmaße und des Expositionssettings, mangelhafte bzw. fehlende Charakterisierung der Experimental- bzw. Kontrollgruppe etc.) lassen jedoch erhebliche Zweifel an der Wissenschaftlichkeit und Glaubwürdigkeit dieser Ergebnisse aufkommen (zur Kritik an dieser Studie siehe auch (Bergqvist and Franzén 1993)). Ein Versuch der Arbeitsgruppe, diese Ergebnisse zu replizieren, scheiterte (Wang et al 1994).

Oftedal und Mitarbeiter (Oftedal et al 1995) berichten in einer Doppelblind-Provokations- bzw. Interventionsstudie ebenfalls positive Ergebnisse. Die Autoren untersuchten 22 Patienten mit Hautbeschwerden, die mit Bildschirmarbeit in Verbindung gebracht wurden, an ihrem Arbeitsplatz, wobei externe Filter zur Reduktion der elektrischen Felder auf den Bildschirmen appliziert wurden. Aktive (geerdete) und inaktive (nicht geerdete) Filter wechselten in randomisierter Reihenfolge bei jeweils zweiwöchigen Expositionsphasen. Die Mehrheit der Symptome war bei Anwesenheit eines aktiven Filters weniger stark ausgeprägt im Vergleich zu inaktiven Filtern, wobei die Unterschiede vernachlässigbar gering ausfielen. Lediglich für ein Symptom - „Kribbeln oder Brennen der Haut“ - konnte ein statistisch signifikanter

Unterschied nachgewiesen werden. Die in dieser Untersuchung zusätzlich erhobenen physikalischen und psychosozialen Parameter konnten die Reduktion der Intensität dieses Symptoms nicht erklären. Die Autoren werten diese Ergebnisse als Belege für die Hypothese, dass Hautsymptome durch die Reduktion elektrischer Felder abnehmen können, weisen aber zugleich auf Einschränkungen dieser Aussage hin, da zum einen nur relativ schwache Tendenzen aufgezeigt werden konnten und zum anderen nur eine geringe Anzahl von Personen untersucht wurde.

Eine auch von Betroffenen oftmals angeklagte Schwäche vieler kontrollierter Provokationsstudien liegt jedoch in der fraglichen Übertragbarkeit der künstlichen Laborsituation auf die tatsächlichen Auslösungsbedingungen im Alltag. Diesem Problem versuchten Flodin u. Mitarbeiter (Flodin et al 2000) zu entgehen, indem sie ein Studiendesign unter realen Alltagsbedingungen konzipierten. 16 Elektrosensible, die verschiedene Symptome überwiegend infolge der Exposition an Computerbildschirmen (aber auch durch Fernseher, fluoreszierende Lampen oder Mobiltelefone) beklagten, unterzogen sich in ihrer gewohnten häuslichen Umgebung oder an ihrem Arbeitsplatz einem Provokationstest, der bei vier Probanden mit den eigenen (symptomauslösenden) technischen Geräten durchgeführt wurde. In den übrigen Fällen, in denen eine vollständige Maskierung der eigenen Geräte aus technischen Gründen nicht realisierbar war, diente ein Bildschirm als EMF-Quelle. Die Ergebnisse der Provokation mit eigenen Geräten unterschieden sich nicht von der Provokation mit dem Standardgerät. Im Gesamtbild reihen sich auch die Ergebnisse dieser Studie in die typischen Befunde vorangegangener Studien ein: Die elektrosensiblen Patienten konnten nicht besser als die Kontrollpersonen aufdecken, ob sie elektrischen und magnetischen Feldern ausgesetzt sind. Darüber hinaus konnten keine Unterschiede im Symptomerleben bei tatsächlicher und simulierter Exposition festgestellt werden.

In jüngeren Expositionsversuchen wurde auch die Elektrosensibilität in Bezug auf hochfrequente elektromagnetische Felder untersucht. Hietanen und Mitarbeiter (Hietanen et al 2002) testeten 20 Versuchspersonen, die nach eigenen Angaben starke Symptome infolge der Exposition an Mobiltelefonen erfuhren, mit einem 900 bzw. 1800 MHz GSM oder NMT (Nordic-Mobile-Telecommunication System, analog) Signal, welches über ein Mobiltelefon am Kopf ausgesandt wurde. Alle Versuchspersonen erlebten während der 30-minütigen Testphasen mehr oder minder stark ausgeprägte Symptome, wobei keine einzige Person zwischen der tatsächlichen Exposition und der simulierten Exposition unterscheiden konnte. Während der Scheinexposition wurden sogar mehr Symptome berichtet.

Insgesamt ergeben diese Provokationsstudien keinen Hinweis darauf, dass elektrosensible Personen eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber EMF i. d. S. aufweisen, dass sie zuverlässig das Vorhandensein von Feldern aufdecken können. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse weder einen notwendigen noch einen hinreichenden Einfluss elektrischer und magnetischer Felder auf die subjektiven Beschwerden an: Symptome können auch ohne vorliegende Feldexposition hervorgerufen werden (siehe Scheinbedingungen), genauso wie auch elektrische und magnetische Felder nicht in jedem Fall zum Erleben von Symptomen führen (die Reaktionen der Versuchspersonen zeigen keinen Zusammenhang mit dem Feldstatus). (Hillert et al 2001).

Jedoch bleibt anzumerken, dass eine nahezu unbegrenzte Kombination verschiedenster EMF-Parameter wie Frequenz, Intensität, Dauer etc. in Verbindung mit verschiedensten anderweitigen physikalischen und psychologischen Faktoren von potenzieller Relevanz ist, so dass der Einfluss von EMF nicht generell ausgeschlossen werden kann.

1.3.3 Interventionsstudien

Einige zuvor zitierte Studien deuten auf einen nicht vernachlässigbaren Einfluss psychologischer Variablen auf das Erleben unspezifischer EMF-bezogener Symptome hin (vgl.

(Lonne-Rahm et al 2000); (Andersson et al 1996)). Diese Hinweise verdichten sich weiterhin durch drei Interventionsstudien, die Behandlungserfolge bei elektrosensiblen Patienten im Rahmen einer Kognitiven Verhaltenstherapie nachweisen konnten ((Andersson et al 1996); (Harlacher and Schahn 1998); (Hillert et al 1998)).

Die dabei typischerweise zur Anwendung gebrachten Behandlungsprinzipien umfassten u. a. eine eingehende Problemanalyse, Aufzeigen eines alternativen Erklärungsmodells für die erlebten Symptome, Überprüfung dieser Alternativinterpretationen in Form von Hausaufgaben, Verhaltensexperimente während der Sitzungen und Stressbewältigungsmethoden. Durch eine zufällige Verteilungsprozedur wurde ein Teil der ES-Patienten jeweils einer Wartebedingung (Kontrollgruppe) zugewiesen, welche die psychotherapeutische Behandlung erst zu einem späteren Zeitpunkt erhielt.

Andersson et al. (Andersson et al 1996) benutzten die oben beschriebenen Provokationsversuche, um mögliche Reaktivitätsveränderung als Folge der Therapie operationalisieren zu können. Da das therapeutische Vorgehen auf die Interpretation der Symptome fokussierte, wurde erwartet, dass sich die Reaktionen im Provokationstest nach der Behandlung verglichen mit den Reaktionen vor Beginn der Behandlung abschwächen. Diese Hypothese konnte zwar nicht bestätigt werden, doch ergab sich in einigen mittels Fragebogen erhobenen Beschwerdemaßen ein signifikanter Effekt der Behandlung: Die Patienten bewerteten die Beeinträchtigung verschiedener Aspekte ihres alltäglichen Lebens durch die Elektrosensibilität nach Ende der therapeutischen Intervention als deutlich geringer.

In der KVT-Studie von Hillert (Hillert et al 1998) konnten zwar keine signifikanten Haupteffekte nachgewiesen werden, doch zeigte sich ein Verbesserungstrend in der Follow-Up-Untersuchung: Sechs Monate nach Abschluss der Therapie schätzte die Gruppe der behandelten Personen ihre Elektrosensibilität signifikant geringer ein als die Personen in der Kontrollgruppe. Die subjektive Beeinträchtigung durch auslösende Faktoren reduzierte sich bei der Therapiegruppe signifikant, jedoch nicht in der Kontrollgruppe

Harlacher & Schahn (Harlacher and Schahn 1998) konnten von 26 mit KVT behandelten Patienten 13 als von „ES“ geheilt oder zuverlässig gebessert einstufen. Eine deutliche Verschlechterung des Krankheitszustandes erlitt dagegen keine der behandelten Personen (wie auch bei Hillert). Die Autoren merken an, dass bei manchen Patienten bereits durch die Vermittlung eines nachvollziehbaren alternativen Erklärungsmodells für ihre Beschwerden bzw. durch eine bestätigende Überprüfung dessen eine „Heilung“ im Sinne von Symptomfreiheit erreicht werden konnte.

Ausschlusskriterium in allen hier aufgeführten Studien war u. a. die Diagnose einer medizinischen oder psychiatrischen Erkrankung. Von 63 für die Untersuchung von Hillert in Betracht gezogenen ES-Patienten litten 21 Patienten an einer medizinisch diagnostizierten Krankheit oder psychischen Störung. Die 26 von Harlacher mit KVT therapierten Patienten stammten wiederum aus einer Stichprobe von 80 ES-Betroffenen, die sich vorab einer umfassenden dermatologischen Behandlung unterzogen, welche auch die Eliminierung von gesundheitsschädigenden Umweltbedingungen am Arbeitsplatz (z. B. Schimmel in Luftbefeuchtern, ungünstige Beleuchtung) und in wenigen Fällen eine psychopharmakologische Medikation (meist Depression) mit einschloss. 30 Patientinnen (72 der Behandelten waren Frauen) konnten als von „Elektrosensibilität“ geheilt aus dieser Behandlung entlassen werden. Eine medizinische oder psychiatrische (Ko-)Morbidity kann also zumindest bei einem Teil der ES-Betroffenen als konkurrierendes Erklärungsmuster für die aufgetretenen Beschwerden angeführt werden.

1.4 Ein kognitives Erklärungsmodell der „Elektrosensibilität“

Vor dem Hintergrund ihrer klinischer Erfahrungen entwickelten Harlacher und Schahn (Harlacher and Schahn 1998) ein multifaktorielles Prozess-Modell, das zur Erklärung der Entstehung und Aufrechterhaltung des Phänomens der Elektrosensibilität beitragen soll. Das Modell ist in drei Phasen gegliedert, im Laufe derer sich die Entwicklung der Krankheitsüberzeugung, an den schädlichen Effekten der EMF-Exposition zu leiden, vollzieht. Graphik 1 veranschaulicht diese Phasen in Form eines Flussdiagramms.

Phase 1:

Dem Beginn der Entwicklung der Überzeugung, elektrosensitiv zu sein, geht bei vielen Betroffenen eine längere Phase voraus, in der sie an für sie unerklärlichen Beschwerden leiden. Häufige Konsultationen verschiedener Ärzte führen zu keiner befriedigenden Diagnose, auch eine alternativmedizinische Abklärung bleibt ohne Befund. Als tatsächliche Ursachen für die Beschwerden kommen verschiedenste Faktoren in Frage:

- Ein Großteil der Betroffenen leidet an bis dato nicht diagnostizierten Krankheiten wie z. B. Hautkrankheiten, Allergien, in wenigen Fällen auch an psychiatrischen Störungen wie Depression. Für dieses Diagnosedefizit können teils krankheitsimmanente Diagnoseprobleme (atypische Symptomverläufe) verantwortlich gemacht werden, die das Erkennen der tatsächlich vorliegenden Erkrankung erschweren. Zusätzlich problematisch wird die oftmals jahrelange, von unzähligen erfolglosen Kontakten gezeichnete Odyssee durch das Gesundheitswesen, welche bei vielen Ärzten den Verdacht aufkommen lässt, dass bei den Betroffenen im Grunde eine „hypochondrische“ Auseinandersetzung mit den Beschwerden vorliegt, womit sich vielfach die unvollständige medizinisch-organische Exploration fortsetzt.
- Wenn auch bis auf eine kleine Anzahl psychiatrischer Fälle elektrosensible Personen keine psychopathologischen Merkmale aufweisen, gibt es dennoch Hinweise, die auf eine geringe soziale Unterstützung und eine niedrige physische Fitness schließen lassen.
- Vielfach sind auch am Arbeitsplatz der Betroffenen gesundheitlich abträgliche physikalische Bedingungen (z. B. unzureichende Durchlüftung, Flimmer durch hochfrequente, energiesparende Leuchtröhren) wie auch psychologische Faktoren (psychosozialer Stress durch erhöhte Arbeitsbelastung) identifizierbar, welche zur Verursachung und Intensivierung der Primärsymptome beitragen können.

Der durch das Fehlen einer offiziellen Diagnose ausgelöste Erklärungsnotstand führt bei den Betroffenen dazu, dass sie selbst intensiv nach den Ursachen ihrer Beschwerden suchen.

Phase 2:

Berichte in den Medien, Hinweise durch Bekannte oder anderweitige Erfahrungen lassen die Betroffenen erstmalig auf einen möglichen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und ihren gesundheitlichen Beschwerden aufmerksam werden. Anhand von Selbstversuchen und intensiver Selbstbeobachtung wird diese Hypothese fortan getestet. So setzen sich die Betroffenen beispielsweise gezielt elektromagnetischen Feldern aus (z. B. Computern am Arbeitsplatz) und beobachten ihre körperlichen Reaktionen. In diesem Zustand der erhöhten Selbstaufmerksamkeit ist die Wahrscheinlichkeit für ein „positives“ Testresultat sehr hoch, da durch die gesteigerte Wahrnehmungsfähigkeit für Körpersignale bisher unbewusste Empfindungen erstmals wahrgenommen bzw. Primärsymptome noch intensiver erlebt werden. Kognitiver Stress, der durch die steigende Angst verursacht wird, tatsächlich auf elektromagnetische Felder krankhaft zu reagieren, trägt zusätzlich zum Erleben körperlicher Symptome bei.

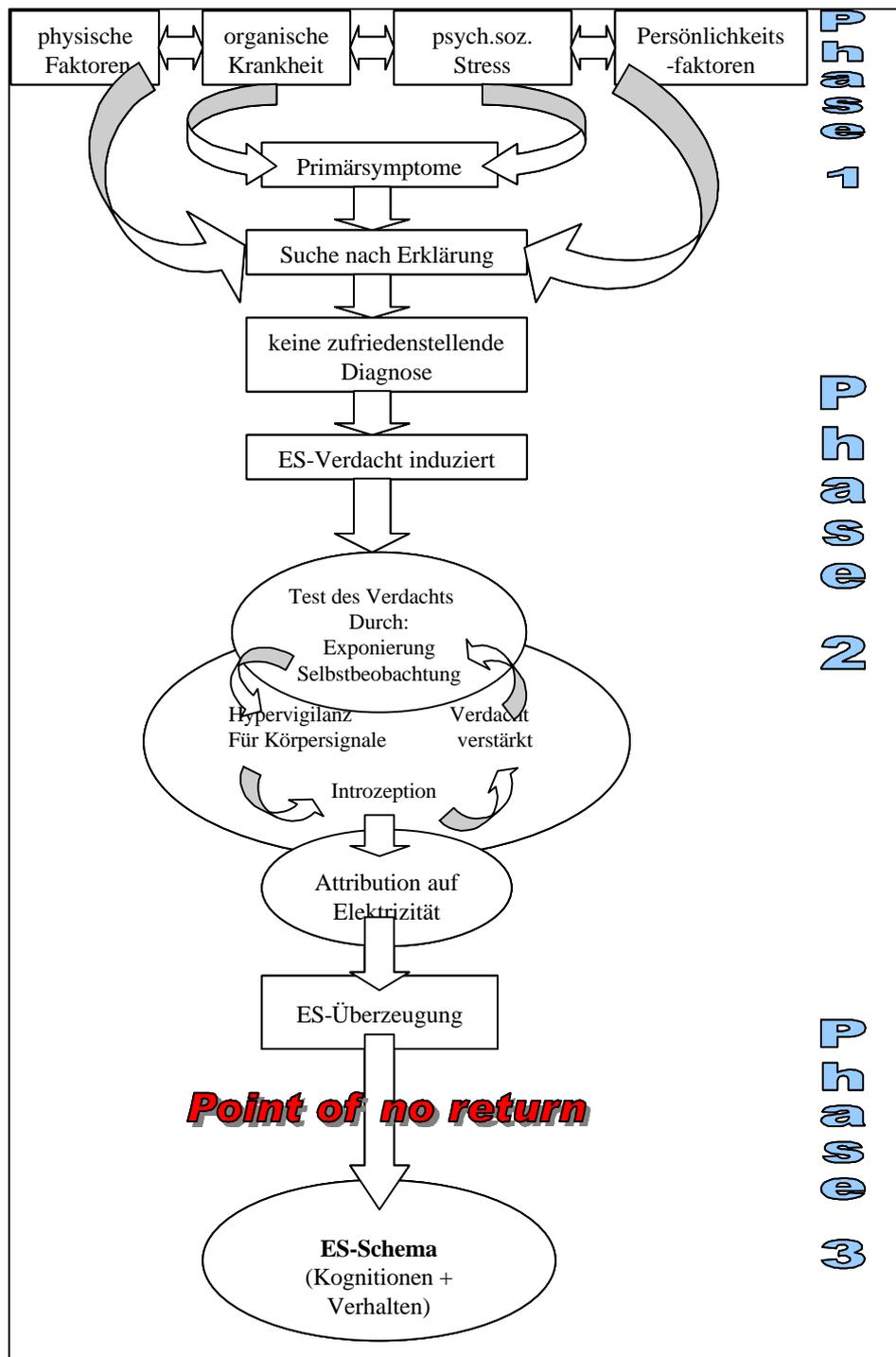


Abbildung 1.1: Vorschlag eines Erklärungsmodells für ES, vereinfacht nach (Harlacher and Schahn 1998).

In ihrem anfänglichen Verdacht bestätigt, werden derartige Selbstexponierungen von den Betroffenen wiederholt, so dass sich in einer Spirale von Exponierung, Selbstbeobachtung und zunehmend stärkeren Symptomen die Überzeugung etabliert, an den negativen Effekten elektromagnetischer Felder zu leiden. Beobachtungen von abnehmenden Beschwerden am Wochenende und im Urlaub oder von stärkeren Beschwerden zu Beginn der Arbeitswo-

che werten die Betroffenen als handfeste Beweise für den Zusammenhang zwischen ihren Beschwerden und den elektromagnetischen Feldern. Oftmals fördern auch äußere Umstände wie z. B. als überhöht eingestufte EMF-Messungen am Arbeitsplatz, geäußerte Vermutungen von Elektro- oder Baubiologen über einen schädigenden Einfluss von EMF oder auch vermeintlich unbewusste Reaktionen von Kindern oder Haustieren die zunehmende Elektrosensibilitätsüberzeugung.

Phase 3:

Mit zunehmenden vermeintlich hypothesenbestätigenden Erfahrungen entwickelt die betroffene Person ein Überzeugungssystem um ihre vermutete Elektrosensibilität, welches als kognitives Schema durch verschiedene Aufmerksamkeits- und Selektionsprozesse die Informationsaufnahme und -verarbeitung steuert: Dieses Schema bestimmt, auf welche Aspekte der inneren und äußeren Umwelt die Aufmerksamkeit gelenkt wird, welche Informationen aufgenommen und welche vernachlässigt werden. Schemakonforme Wahrnehmungen und Erinnerungen werden begünstigt und uneindeutige Informationen im Sinne des kognitiven Orientierungssystems zu sinnvollen (schemakongruenten) Einheiten assimiliert. Durch diese einseitige Informationsverarbeitung wirkt das kognitive Elektrosensitivitätsschema selbstvalidierend. Erinnerungsfehler, Symptomgeneralisierung und Vermeidung und Erfahrungen mit spezieller Beweiskraft (z. B. das Fehlschlagen von anfänglich eingesetzten Bewältigungsstrategien) tragen u. a. zusätzlich zur Aufrechterhaltung des ES-Schemas bei.

Je geringer der Elaborationsgrad dieses Schemas ist, desto leichter ist es zu korrigieren. Dies kann z. B. durch die Darbietung einer glaubhaften, nachvollziehbaren Alternativerklärung für die erlebten Beschwerden (z. B. eine bis dato nicht diagnostizierte Krankheit) erreicht werden. Manche Betroffene weisen in ihrem Überzeugungssystem jedoch eine derart verfestigte Änderungsresistenz auf, dass sie Alternativerklärungen nicht mehr als alleinige Ursachen für ihre Beschwerden akzeptieren können. Hier ist ein *Point of no return* erreicht, ab dem das kognitive Schema nicht mehr durch die Anpassung an alternative Informationen geändert werden kann.

Die Autoren weisen ausdrücklich darauf hin, dass dieses Modell „...*hauptsächlich ein Produkt klinischer Beobachtungen (ist) und ... damit nicht den Anspruch erheben (kann), empirisch validiert zu sein*“ ((Harlacher and Schahn 1998), S. 163). Wenn auch der prinzipielle Entwicklungsablauf der ES aufgeführt wird, bleiben einige empirische Beobachtungen außer acht: So fehlt beispielsweise ein Erklärungszusammenhang für die Überrepräsentation von Frauen unter den ES-Betroffenen (z. B. (Hillert et al 2002)). Potenziell schädigende Einflüsse durch EMF wurden – da sie bis dato als nicht definitiv nachgewiesen gelten – nicht in das Modell integriert.

1.5 Schlussfolgerungen und Fragestellung für die Feldphase I

Die Forschungslage zum Problem der Elektrosensibilität bzw. allgemein zu unspezifischen Beschwerden infolge möglicher Beeinflussung durch EMF offenbart ein sehr inkonsistentes und widersprüchliches Gesamtbild. Die Ausprägung der Elektrosensibilität weist nicht nur eine hohe interindividuelle Variabilität auf, sondern auch deutliche Unterschiede im Vergleich verschiedener Länder. Unterschiedliche methodologische Ansätze – epidemiologische und experimentelle Untersuchungen in nicht selektierten Stichproben wie auch unter Personen mit potenzieller spezifischer Sensitivität – konnten keinen definitiven Kausalzusammenhang zwischen typischen Symptomen der Elektrosensibilität und elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern etablieren. Vielmehr scheinen sich Beweise in Richtung eines multifaktoriellen Entstehungshintergrundes zu häufen, in dem die Wirkung von EMF als Teilaspekt – sofern er überhaupt gegeben sein sollte – erst nachzuweisen bleibt. Physikalische, psychologische und psychosoziale Einflussfaktoren werden

mit der Entstehung und Aufrechterhaltung EMF-bezogener Symptome in Verbindung gebracht. Ein Hauptproblem bei der Untersuchung der Elektrosensibilität besteht im Mangel an objektiven Krankheitsanzeichen und pathophysiologischen Markern. Es existieren bisher weder eindeutige diagnostische Kriterien noch ein typisches Symptomcluster noch ein medizinischer Test, anhand derer die Elektrosensibilität als klinische Entität definiert und von anderen Krankheitsbildern, insbesondere anderer unspezifischer umweltbezogener Syndrome, zuverlässig abgegrenzt werden kann. Dies führt nicht nur in der Forschung zu dem Risiko, dass durch die Untersuchung heterogener Stichproben mögliche Befunde in der eigentlichen Zielgruppe nicht aufgedeckt werden können, sondern auch zu der Schwierigkeit, zielgerichtete und effektive Behandlungsmaßnahmen zu implementieren.

Den Ansatzpunkt dieser ersten Feldphase bildet dabei folgende Problemstellung: Wie kann die Vielzahl an heterogenen EMF-Beschwerden in einem psychometrischen Sinne so gemessen werden, dass eine valide Identifikation von ES-betroffenen Personen möglich wird? Da erst die Anwendung eines derartigen Screening-Instrumentes die Erforschung möglicher Kausalzusammenhänge sinnvoll erscheinen lässt, wurde für diese Untersuchung ein psychometrischer Ansatz gewählt, in dessen Rahmen die Suche nach verursachenden Bedingungen zunächst zurückgestellt wird. Stattdessen wird untersucht, ob innerhalb der Allgemeinbevölkerung, welche hier die untersuchte Population darstellt, eine in sich homogene Personengruppe gefunden werden kann, die sich durch ein spezifisches EMF-Beschwerdenmuster von anderen Personengruppen abgrenzen lässt. Es wird also zunächst von einer qualitativen Ausprägung des Störungsbildes Elektrosensibilität ausgegangen (siehe dazu Befunde von (Bergdahl 1995); (Hillert et al 1999)), wobei die tatsächliche Natur des Phänomens erst geklärt werden muss; grundsätzlich denkbar wäre auch eine quantitative Ausprägung im Sinne einer kontinuierlichen Verteilung von „viel“ bis „wenig“ Elektrosensibilität in der Bevölkerung. Darüber hinaus verfolgte die Feldphase I das Ziel, die Prävalenz von EMF-Beschwerden in der Allgemeinbevölkerung zu erheben, um eine „Normbelastung“ zu erhalten, gegen die eine Häufung bei speziell exponierten oder elektrosensiblen Personen evaluiert werden kann. Zur Klärung dieser Untersuchungsfragen wurde eine Erhebung mit standardisierten Interviews in einer repräsentativen Stichprobe der Bevölkerung Regensburgs durchgeführt.

1.6 Literatur Kapitel 1

- Akerstedt T, Arnetz B, Ficca G, Paulsson L, Kallner A (1999): A 50-Hz electromagnetic field impairs sleep. *J Sleep Res* 8:77-81.
- Altpeter E, Battaglia M, Bader A, Pflüger D, Minder C, Abelin T (2000): 10 Jahre epidemiologische Forschung im Umfeld des Kurzwellensenders Schwarzenburg: Was haben wir gelernt? In Oberfeld G (ed), *Internationale Konferenz "Situierung von Mobilfunksendern" - Wissenschaft & Öffentliche Gesundheit*. Salzburg: Land Salzburg, Landessanitätsdirektion & Universität Wien, Institut für Umwelthygiene, pp 127-134.
- Altpeter E, Krebs T, Pflüger D, et al (1995): Study of Health Effects of the Shortwave Transmitter Station of Schwarzenburg, Berne, Switzerland (Major Report). Bern: Federal Office of Energy.
- Andersson B, Berg M, Arnetz B, Melin L, Langlet I, Lidén S (1996): A cognitive-behavioral treatment of patients suffering from "electric hypersensitivity": subjective effects and reactions in a double-blind provocation study. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 38:752-758.
- Arnetz BB (1998): Environmental illness: Multiple Chemical Sensitivity, Sick Building Syndrome, Electric and Magnetic Field Disease. In Lundberg A (ed), *The environment and mental health. A guide for clinicians*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, pp 115-146.
- Arnetz BB (1999): Model development and research vision for the future of multiple chemical sensitivity. *Scand J Work Environ Health* 25:569-573.
- Baroncelli P, Battisti S, Checcucci A, et al (1986): A health examination of railway high-voltage substation workers exposed to ELF electromagnetic fields. *Am J Ind Med* 10:45-55.

- Beale IL, Pearce NE, Conroy DM, Henning MA, Murrell KA (1997): Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in humans living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics* 18:584-594.
- Berg (1988): Skin problems in workers using visual display terminals. A study of 201 patients. *Contact Dermatitis* 19:335-341.
- Berg M, Arnetz B, Liden S, Eneroth P, Kallner A (1992): Techno-stress. A psychophysiological study of employees with VDU-associated skin complaints. *J Occup Med* 34:698-701.
- Berg M, Hedblad M-A, Erhardt K (1989a): Facial skin complaints and work at visual display units. Epidemiological, clinical and histopathological studies. *Acta Derm Venereol* 70:216-220.
- Berg M, Liden S, Axelson O (1989b): Facial skin complaints and work at visual display units. An epidemiologic study of office employees. *J Am Acad Dermatol* 22:621-625.
- Bergdahl J (1995): Psychologic aspects of patients with symptoms presumed to be caused by electricity or visual display units. *Acta Odontol Scand* 53:304-310.
- Bergqvist U (1998): Non-specific health symptoms attributed to electromagnetic sources: a review of epidemiological and experimental studies. In Leitgeb N (ed), *International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-Specific Health Symptoms*. Graz, Austria, University of Technology: COST (European Cooperation in the Field of Science and Technical Research), Project 244" Biomedical Effects of Electromagnetic Fields, pp 33-48.
- Bergqvist U, Franzén O (1993): Letter to the Editor: Electromagnetic field sensitivity. *Electro- and Magnetobiology* 12:v-vii.
- Bergqvist U, Wahlberg J (1994): Skin symptoms and disease during work with visual display terminals. *Contact Dermatitis* 30:197-204.
- Bergqvist U, Vogel E, Aringer L, et al (1997): Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. Solna: National Institute for Working Life.
- Bini M, Checcucci A, Ignesti A, et al (1986): Exposure of workers to intense RF electric fields that leak from plastic sealers. *J Microw Power Electromagn Energy* 21:33-40.
- Broadbent D, Broadbent M, Male J, Jones M (1985): Health of workers exposed to electric fields. *Br J Ind Med* 42:75-84.
- Bullinger M, Frick U, Kirchnerberger I, von Mackensen S, Hasford J (1993): Erfassung des Sick-Building-Syndromes. Grundlagen, Methoden und Ergebnisse einer Voruntersuchung an Beschäftigten in klimatisierten Gebäuden. In W. Bischof MD, W. Schmid (ed), *Sick Building Syndrome*. Karlsruhe: C.F. Müller, pp 88-96.
- Cato Olsen W (1981): Electric field enhanced aerosol exposure in visual display unit environments. Bergen, Norway: The Chr. Michelsen Institute.
- Chester AC, Levine PH (1997): The natural history of concurrent Sick Building Syndrome and Chronic Fatigue Syndrome. *J psychiat Res* 31:51-57.
- Cook CM, Thomas AW, Prato FS (2002): Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: a review of recent studies. *Bioelectromagnetics* 23:144-157.
- Cook MR, Graham C, Cohen HD, Gerkovich MM (1992): A replication study of human exposure to 60 Hz fields: effects on neurobehavioral measures. *Bioelectromagnetics* 13:261-285.
- Crasson M, Legros JJ, Scarpa P, Legros W (1999): 50 Hz magnetic field exposure influence on human performance and psychophysiological parameters: two double-blind experimental studies. *Bioelectromagnetics* 20:474-486.
- Crick F, Mitchison G (1995): REM sleep and neural nets. *Behav Brain Res* 69:147-155.
- Dowson D, Lewith G, Campbell M, Mullee M, Brewster L (1988): Overhead high-voltage cables and recurrent headache and depressions. *Practitioner* 232:435-436.
- Eriksson N, Hoog J, Sandstrom M, Stenberg B (1997): Facial skin symptoms in office workers. A five-year follow-up study. *J Occup Environ Med* 39:108-118.
- Feldman LR, Eaglstein WH, Johnson RB (1985): Terminal illness. *J Am Acad Dermatol* 12:366.
- Flodin U, Seneby A, Tegenfeldt C (2000): Provocation of electric hypersensitivity under everyday conditions. *Scandinavian J of Work, Environment & Health* 26:93-98.
- Graham C, Cohen HD, Cook MR, W. PJ, Gerkovich MM, Fotopoulos SS (1987): A double-blind evaluation of 60 Hz field effects on human performance, physiology and subjective state. *National Technical Information Service* :471-486.
- Graham C, Cook M (1999): Human sleep in 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 20:277-283.
- Hamnerius Y, Agrup G, Galt S, Nilsson R, Sandblom J, Lindgren R (1993): Double-blind provocation study of hypersensitivity reactions associated with exposure to electromagnetic fields from VDUs. Preliminary short version. In Ramel C (ed), *Symposium on hypersensitivity to electricity*, Vol KVA report 1993, 2. Stockholm: Royal Swedish Academy of Science, pp 67-92.

- Hamnerius Y, Sjöberg P (1994): Investigation of provoked hypersensitivity reactions from the electric and magnetic fields of a video display unit. In Simunic D (ed), *COST 244 meeting on Electromagnetic Hypersensitivity*. Graz, Austria: COST 244.
- Harlacher U, Schahn J (1998): "Elektrosensitivität" - ein psychologisches Problem? In Kals E (ed), *Umwelt und Gesundheit. Die Verbindung ökologischer und gesundheitlicher Ansätze*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, pp 151-196.
- Helbom M (1993): Provocation attempt with persons hypersensitive to electricity. Effects of information on the presence of electric and magnetic fields, *Department of Applied Psychology*. Uppsala (Schweden): Uppsala University.
- Hietanen M, Hämäläinen A-M, Husman T (2002): Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link. *Bioelectromagnetics* 23:264-270.
- Hillert L, Berglund N, Arnetz BB, Bellander T (2002): Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scand J Work Environ Health* 28:33-41.
- Hillert L, Flato S, Georgellis A, Arnetz B, Kolmodin-Hedman B (2001): Environmental illness: fatigue and cholinesterase activity in patients reporting hypersensitivity to electricity. *Environmental Research* 85:200-206.
- Hillert L, Kolmodin Hedman B, Dölling BF, Arnetz BB (1998): Cognitive behavioural therapy for patients with electric sensitivity - a multidisciplinary approach in a controlled study. *Psychother Psychosom* 67:302-310.
- Hillert L, Kolmodin Hedman B, Söderman E, Arnetz BB (1999): Hypersensitivity to electricity: working definition and additional characterization of the syndrome. *J of Psychosomatic Research* 47:429-483.
- Hocking B (1998): Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occupational Medicine* 48:357-360.
- Knave B, Bergqvist U, Wibom R (1989): Symptom och subjektiva besvär vid "överkänslighet mot elektricitet". (Symptoms and subjective discomforts in "hypersensitivity to electricity". In Swedish). Solna, Sweden: National Institute of Occupational Health.
- Knave B, Gamberale F, Bergstrom S, et al (1979): Long-term exposure to electric fields. A cross-sectional epidemiologic investigation of occupationally exposed workers in high-voltage substations. *Scand J Work Environ Health* 5:115-125.
- Koivisto M, Haarala C, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H (2001): GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 22:212-215.
- Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H (2000a): The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 11:1641-1643.
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, et al (2000b): Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11:413-415.
- Kolmodin-Hedman B, Hansson Mild K, Hagberg M, Jonsson E, Andersson M, Eriksson A (1988): Health problems among operators of plastic welding machines and exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Int Arch Occup Environ Health* 60:243-247.
- Korpinen L, Partanen J (1994): Influence of 50 Hz electric and magnetic fields on the pulse rate of human heart. *Bioelectromagnetics* 15:503-512.
- Kramer C (1998): Umweltbewußtsein in Europa - ähnliche Probleme, unterschiedliches Verhalten. *Informationsdienst Soziale Indikatoren ISI* 20:10-14.
- Leitgeb N (1995): Elektrosensibilität. *VEÖ-Journal* 52:51-55.
- Levallois P, Neutra R, Lee G, Hristova L (2002): Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. *Environ Health Perspect* 110:619-23.
- Lindén V, Rolfsen S (1981): Video computer terminals and occupational dermatitis. *Scandinavian Journal of Environment and Health* 7:62-67.
- Lonne-Rahm S, Andersson B, Melin L, Schultzberg M, Arnetz B, Bert M (2000): Provocation with stress and electricity of patients with "sensitivity to electricity". *J of Occupational and Environmental Medicine* 42:512-516.
- Matsunaga K, Hayakawa R, Ono Y, Hisanaga O (1988): Facial rash in a visual display terminal operator (in Japanese, abstract in English). *Annual reports of the Naguya University Branch Hospital* 22:57-61.
- McMahan S, Ericson J, Meyer J (1994): Depressive symptomatology in women and residential proximity to high-voltage transmission lines. *Am J Epidemiol* 139:58-63.
- McMahan S, Meyer J (1995): Symptom prevalence and worry about high voltage transmission lines. *Environ Res* 70:114-118.

- Mild KH (1998): Mobile telephones and non-specific health symptoms. In Leitgeb N (ed), *Proceedings of the international workshop on electromagnetic fields and non-specific health symptoms*. Graz, Austria: COST, pp 46-52.
- Müller CH (2000): Projekt NEMESIS - Niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Elektrosensibilität in der Schweiz. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule.
- Müller CH, Krüger H, Schierz C (2002): Project NEMESIS: perception of a 50 Hz electric and magnetic field at low intensities (laboratory experiment). *Bioelectromagnetics* 23:26-36.
- Neuhann H, Henne A, Kleinsteuber B, Prator K, Schlipkötter H (1994): Evaluation of the use of an environmental medicine consulting center. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 195:342-356.
- Nilsen A (1982): Facial rash in visual display unit operators. *Contact Dermatitis* 8:25-28.
- Oftedal G, Vistnes A, Rygge K (1995): Skin symptoms after the reduction of electric fields from visual display units. *Scand J Work Environ Health* 21:335-344.
- Poole C, Kavet R, Funch D, Donelan K, Charry J, Dreyer N (1993): Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating-current transmission line right-of-way. *Am J Epidemiol* 137:318-330.
- Preece A, Iwi G, Davies-Smith A, et al (1999): Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 75:447-456.
- Rea WJ, Pan Y, Yenyves EJ, Sujisawa I, Samadi N, Ross GH (1991): Electromagnetic field sensitivity. *J of Bioelectricity* 10:241-256.
- Röschke J, Mann K (1998): The effects of digital mobile radio telephones on the electroencephalogram of humans, *International workshop on electromagnetic fields and non-specific health symptoms*. Graz, Austria.
- Rycroft RJG, Calnan CD (1984): Facial rashes among visual display operators. In Pearce BG (ed), *Health hazard of VDTs?* Chichester, England: Wiley, pp 13-15.
- Sandström M, Mild KH, Stenberg B, Wall S (1995): Skin symptoms among VDT workers and electromagnetic fields - a case referent study. *Indoor Air* 5:29-37.
- Sandström M, Stenberg B, Mild KH (1993): Experience with patient provocations with electric and magnetic fields (in Swedish). In Ramel C (ed), *Symposium on hypersensitivity to electricity*, Vol KVA report 1993:2. Stockholm, Sweden: Royal Swedish Academy of Science.
- Savitz D, Boyle C, Holmgren P (1994): Prevalence of depression among electrical workers. *Am J Ind Med* 25:165-176.
- Silny J (1998): Electrical hypersensitivity in humans - fact or fiction? *Zbl. Hyg. Umweltmed.* 202:219-233.
- Stark K, Krebs T, Altpeter E, Manz B, Griot C, Abelin T (1997): Absence of chronic effect of exposure to short-wave radio broadcast signal on salivary melatonin concentrations in dairy cattle. *J Pineal Res* 22:171-176.
- Swanbeck G, Bleeker T (1989): Skin problems from visual display units. Provocation of skin symptoms under experimental conditions. *Acta Derm Venereol* 69:46-51.
- Trimmel M, Schweiger E (1998): Effects of an ELF (50Hz, 1 mT) electromagnetic field (EMF) on concentration in visual attention, perception and memory including effects of EMF sensitivity. *Toxicology Letters* 96,97:377-382.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, et al (2000a): Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 42:207-212.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, et al (2000b): Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. *Neuropsychobiology* 42:207-212.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C (1998): Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19:199-202.
- Wang T, Hawkins LH, W.J. R (1994): Effects of ELF magnetic fields on patients with chemical sensitivities. In Simunic D (ed), *COST 244 meeting on Electromagnetic Hypersensitivity*. Graz: Cost 244, pp 123-132.
- Wennberg A, Franzén O, Paulsson L-E (1994): Reactions to exposure to electric and magnetic fields - provocations of subjects with "electrical sensitivity" (in Swedish). Stockholm: Arbetsmiljöinstitutet.

2. Feldphase I: „Elektrosmog-Beschwerden“ in der Allgemeinbevölkerung

2.1 Wie definiert man „elektrosensible“ Personen?

Die Frage nach der „Definition“ eines bestimmten Personenkreises kann unter zwei Gesichtspunkten bearbeitet werden: Das **medizinische Paradigma** bemüht sich, ausgehend von gleichgelagerten bzw. ähnlichen Beschwerden einer Personengruppe, ein psychophysisches Korrelat dieser Beschwerden im Sinne eines „Syndromes“ abzugrenzen, um somit die Suche nach verursachenden Noxen aufnehmen zu können. Dabei bleibt die Abgrenzung des „Syndroms“ im Rahmen eines solchen Forschungszugangs oftmals wenig spezifisch, da das „Syndrom“ lediglich eine Arbeitshypothese zur Strukturierung der weiteren, biophysikalischen, chemischen, psychologischen, sozialen etc. Untersuchungsschritte darstellt.

Unter einem **psychometrischen Paradigma** wird demgegenüber die Suche nach verursachenden Bedingungen zunächst zurückgestellt. Stattdessen wird untersucht, ob innerhalb der zu untersuchenden Population (welche hier die Allgemeinbevölkerung darstellt) eine intern homogene Personengruppe gefunden werden kann, die sich durch ein spezifisches Merkmalsmuster von der bzw. den anderen Personengruppe(n) sinnvoll abgrenzen lässt.

Gerade wegen der vorherrschenden Forschungslage, die uneinheitliche Befunde und ein sehr heterogenes Bild beforschter potenzieller Risikofaktoren wie beforschter potenzieller gesundheitlicher Outcomes liefert, wurde in dieser Studie als Schwerpunkt der psychometrische Zugang gewählt: Ausgangspunkt bildeten die von verschiedenen Personen geäußerten subjektiven Beschwerden.

Damit soll in diesem Bericht als „elektrosensibel“ jemand bezeichnet werden, der über eine Beeinträchtigung seines Alltagslebens aufgrund von wiederkehrenden Beschwerden berichtet und die Ursache dieser Beschwerden in einer (vermuteten oder tatsächlichen) Exposition an elektromagnetische Felder sieht. Subjektive „Elektrosensibilität“ verstehen wir also als Synonym zum Terminus „EMF-attribuierte Befindenseinschränkung“.

Von den sich subjektiv als „elektrosensibel“ bezeichnenden Personen müssen diejenigen Personen begrifflich unterschieden werden, die, -ob mit oder ohne Beschwerden lebend, -ob mit oder ohne Kenntnis ihrer physiologischen Konstitution, - bei Vergleichen mit der Gesamtbevölkerung eine besonders niedrige Schwelle zeigen, ab der sie in der Lage sind, schwache elektrische Ströme oder magnetische Felder sicher wahrzunehmen oder physiologisch eindeutig darauf zu reagieren. Manche Autoren benutzen für diesen Personenkreis die Bezeichnung „elektrosensitive“ Personen. Ob „elektrosensitive“ Personen auch ein höheres Risiko haben, mehr Beschwerden zu empfinden (also „elektrosensibel“ zu sein), ist derzeit nicht bekannt. Umgekehrt ist auch nicht gesichert, dass subjektiv „elektrosensibel“ Personen auch eine gesteigerte physiologische Empfindlichkeit (Sensitivität) gegenüber elektromagnetischen Phänomenen besitzen, wiewohl dies in der Selbstbezeichnung „Elektrosensibilität“ ja behauptet wird. Diese Kopplung von erhöhten Beschwerden und höherer Empfindlichkeit wird lediglich aus der Beobachtung gefolgert, dass der Großteil der Bevölkerung bei denjenigen Expositionsniveaus, bei denen subjektiv „elektrosensibel“ Personen Beschwerden empfinden, ähnliche Beschwerden eben nicht aufweist. Alternativ-Erklärungen für die erhöhte Beschwerdenlast müssen aber erst ausgeschlossen werden, bevor die Kopplung von „Sensibilität“ und „Sensitivität“ akzeptiert werden kann.

Wegen der großen Verwechslungsgefahr zwischen subjektiver „Elektrosensibilität“ und apparativ messbarer „Elektrosensitivität“ vermeiden wir in diesem Bericht den letzteren Begriff und umschreiben ihn im folgenden jeweils als „sehr geringe Wahrnehmungsschwelle“.

2.2 Wie werden die Beschwerden und Beeinträchtigungen der sich selbst als „elektrosensibel“ bezeichnenden Personen erfasst?

Die Natur des Störungsbildes EMF-bezogener Beschwerden, also die Frage, ob diese eine qualitative oder quantitative Ausprägung annehmen, sollte im Laufe der Machbarkeitsstudie geklärt werden. Bisherige Forschungsansätze, die sich unter einem psychometrischen Paradigma der Risikowahrnehmung elektromagnetischer Felder gewidmet haben, gingen implizit von einem latent-trait Ansatz aus, also von der kontinuierlichen Verteilung von „viel“ bis „wenig“ EMF-Beschwerden in der Bevölkerung (MacGregor et al 1994). Allerdings haben die bisherigen Untersuchungen diese Annahmen nie geeignet überprüft. Vorstellbar sind nämlich auch EMF-Beschwerden als eine typische Syndrom-Konstellation von relativ wenigen, charakteristisch zusammen auftretenden Beschwerden. Auch kann nicht ausgeschlossen werden, dass es verschiedene Typen von EMF-Beschwerden gibt, die jeweils unterschiedliche Symptommuster aufweisen.

Es wurde ein Fragenkatalog entwickelt, der möglichst alle in der Literatur aufgelisteten Beschwerden thematisch umfassen sollte.

Insbesondere folgende Themenfelder wurden aufgenommen:

- Hautsymptome ((Eriksson et al 1997); (Ofstedal et al 1995))
- Augenbeschwerden ((Nilsson et al 1994), (Stenberg et al 1995))
- Schmerzen im Gesichts- und Zahnbereich ((Bertoft 1996); (Bergdahl et al 1998); (Stenberg et al 1995))
- Allgemeine vegetative Beschwerden ((Schienle et al 1998); (Renton and Persinger 1998); (Beale et al 1997); (Bortkiewicz et al 1996))
- Depressive Verstimmungen ((Verkasalo et al 1997); (Zyss et al 1997); (Zyss 1999); (Burch et al 1999))
- Angsterleben ((Harlacher and Schahn 1998), (Kröling 1998))
- Müdigkeit und Erschöpfung ((Arnetz et al 1997); (Eis et al 1995))
- Subjektive Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung ((Arnetz et al 1997); (Trimmel and Schweiger 1998); (Beale et al 1997))
- Subjektives Schlaferleben (Sher 2000)

Seit die Auswirkungen elektromagnetischer Felder nicht mehr nur im Hinblick auf „harte“ Endpunkte wie Leukämie (Wartenberg 2001), Hirntumore (Gurney and van Wijngaarden 1999), Brustkrebs (Erren 2001) und amyotrophe Lateralsklerose (Davanipour et al 1997) als mögliche EMF-Wirkungen untersucht werden, sondern seit sich die Diskussion in jüngeren Jahren, - ohne dass zu diesem ersten Forschungszweig bereits abschließende Resultate unbezweifelbar feststünden (Ahlbom et al 2001), -zunehmend auf „weiche“ Endpunkte verlagert hat, bildet ein Konglomerat aus Befindlichkeitsstörungen, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen (Li et al 2002) (Trimmel and Schweiger 1998), sowie aus unspezifischen körperlichen Symptomen (Repacholi 1998) das Hauptzielkriterium.

Damit tritt aber neben die methodischen Probleme bei der Messung der unabhängigen Variable, also neben die Expositionsmessung (McCann 1998), das zusätzliche Problem einer psychometrischen Validierung der Erfassung der „abhängigen“ Variable. Dies bildet den Ansatzpunkt der vorliegenden Studie. Wie können die zahlreich genannten und äußerst heterogenen Beschwerden, die mutmaßlich auch über die verschiedenen Personen hinweg eine große Variabilität aufweisen, sinnvoll so erfasst werden, dass sie als „Messung“ im

psychometrischen Sinne des Wortes (Orth 1974) eine wissenschaftliche Aussage ermöglichen, mithin eine Erforschung möglicher Ursache-Wirkungszusammenhänge erst sinnvoll wird? Der Forschungsansatz verfolgte dabei folgende Teilziele:

- 1) Identifikation der bisher in der Literatur berichteten, potenziell EMF-bezogenen Beschwerden,
- 2) Bestimmung der Prävalenz dieser Beschwerden in der Allgemeinbevölkerung, um die Basisrate zu messen, gegen die eine mögliche Häufung bei besonders exponierten oder besonders „sensitiven“ Personengruppen evaluiert werden kann,
- 3) Statistische Analyse des Zusammenhangs der Beschwerden untereinander, also Syndromsuche im Sinne typischer Symptomkonstellationen,
- 4) Aufschlüsselung der Beschwerdenlast in verschiedenen Bevölkerungsgruppen nach verschiedenen potenziell konfundierenden Variablen wie Geschlecht, Alter, Komorbidität, sowie nach perzipierten Umweltbedingungen.

Die für diese Studienziele notwendige Befragung in der Allgemeinbevölkerung wurde als repräsentative Erhebung mit geschulten InterviewerInnen in der Stadt Regensburg im Jahr 2001 durchgeführt. Die in diesem Abschnitt berichteten Ergebnisse beschreiben die psychometrischen Aspekte der Befragung.

2.2.1 Stichprobe und Methoden:

Stichprobe:

Aus dem Melderegister der Stadt Regensburg wurde eine Zufallsstichprobe (Subsample 1) von Personen mit Hauptwohnsitz im Stadtgebiet und im Alter von 18 bis einschließlich 64 Jahren gezogen und schriftlich um ein Interview zu Umwelt bezogenen Beschwerden gebeten (n=1997). Die Feldarbeit fand von Mai 2001 bis Oktober 2001 statt und sah standardisierte Nachfass-Aktionen mit sukzessive brieflicher, telefonischer und persönlicher Kontaktaufnahme vor. Nach Adjustierung für stichprobenneutrale Ausfälle (veraltete Adressen, Verstorbene, Vorliegen von Ausschlusskriterien wie mangelnde Deutschkenntnisse oder dauerhafte Abwesenheit während des Befragungszeitraumes) bedeuten die realisierten 672 Interviews eine korrigierte Responserate von 39,4 % in Subsample 1. Zur Erhöhung der Fallzahl für die geplanten psychometrischen Analysen wurde im Oktober 2001 eine zusätzliche, Random-Walk gestützte Befragung mit dem identen Interview durchgeführt, die durch einen dreistufigen, randomisierten Ziehungsalgorithmus (Stadtbezirk, Haushaltsadresse, Haushaltsmitglied) ebenfalls Repräsentativität für die Zielgruppe beanspruchen kann (Subsample 2). Die Schätzung für die Ausschöpfungsquote der durch Random-Walk zustande gekommenen n = 86 Interviews liegt bei 37,4 %. Die gesamte realisierte Stichprobengröße beträgt n = 758.

Die Verteilung der Befragten nach Geschlecht entspricht der Verteilung im amtlichen Melderegister. Bei der Altersgruppierung ist von einer mit dem Lebensalter leicht zunehmenden Überrepräsentation in der realisierten Stichprobe auszugehen. Der Anteil der 18-27jährigen ist z.B. bei den Respondern um 3,3 % kleiner als im Melderegister, der Anteil der 57-64jährigen liegt in der realisierten Stichprobe dagegen um 2,0 % über dem Anteil im Melderegister. Weil davon ausgegangen werden kann, dass Melderegisterdaten bei jüngeren Personen wegen deren höherer Mobilität schneller veralten als bei älteren Personen, und somit die gefundenen Abweichungen besser als Ziehungsartefakt denn als altersspezifischer Response-Bias aufgefasst werden sollten, wurde auf eine altersspezifische Gewichtung der Ergebnisse verzichtet. Das Durchschnittsalter der Befragten lag bei 42,2 Jahren (S.D. 13,1). 50,9 % der Befragten waren Frauen.

Befragungsinstrument:

Aus einer Sichtung der wissenschaftlichen Literatur zu den Themen „Elektrosensibilität“, „Elektrosmog“, und „Beschwerden / elektromagnetische Felder“ wurde eine umfassende Liste von 36 subjektiven Beschwerden zusammengetragen (Flodin et al 2000) (Gangi and Johannsen 2000) (Gangi and Johannsen 2000), (Hyland 2000), (Müller 2000), (Sastre et al 1998) (Silny 1998) (Toomingas 1996) (Trimmel and Schweiger 1998). Die genannten Beschwerden beruhen hinsichtlich des Verdachts auf einen Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern zumeist auf dem Selbstbericht von PatientInnen (z.B. (Müller et al 2002)), z.T. aber auch auf klinischen Beobachtungen von ÄrztInnen (Flodin et al 2000), (Toomingas 1996). Die Symptome sind meist unspezifischer Art und decken inhaltlich sehr heterogene Bereiche ab wie gastrointestinale Beschwerden, Schmerzzustände unterschiedlicher Art und unterschiedlicher Organe, Hautsymptome, Vigilanzeinbußen, Schlafprobleme, Stimmungseinbußen, ophtalmologische sowie kardiovaskuläre Beschwerden, muskulo-skeletale Symptome. Die Liste (vgl. Tabelle 1) erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sollte aber bewusst das breite Spektrum bisher genannter Beschwerden abdecken und bediente sich dabei z.T. auch sehr unscharfer Begriffe („Nervenschmerzen“, „Herzstolpern“), wenn diese in Kasuistiken als Begrifflichkeit von PatientInnen aufgeführt worden waren.

Alle Beschwerden wurden auf das Vorkommen im zurückliegenden Monat abgefragt („*Haben Sie in den letzten 30 Tagen folgende Beschwerden gehabt?*“). Weil die menschliche Erinnerung den Häufigkeitsbericht von Ereignissen nach deren Bedeutsamkeit verzerrt (Überschätzung der Häufigkeit wichtiger Ereignisse, Unterschätzung der Häufigkeit „beiläufiger“ Ereignisse, vgl. (Lichtenstein et al 1978)), wurde anstelle des Häufigkeitsmusters dieser Beschwerden deren von den ProbandInnen erlebte Intensität auf einer 4-stufigen Antwortskala („*gar nicht*“, „*ein bißchen*“, „*mäßig*“, „*stark*“) abgefragt.

Zusätzlich zu EMF-bezogenen Beschwerden wurden im face-to-face Interview auch Angaben zur Soziodemographie, zum Gesundheitsverhalten und zur Inanspruchnahme medizinischer Versorgung erhoben, in Anlehnung an den Bundesgesundheitsurvey (Bellach 1999). Zur Differenzialdiagnose möglicher depressiver Störungen wurden die Interviewer (diplomierte PsychologInnen und PsychologiestudentInnen im Hauptstudium) speziell geschult im Einsatz des WHO-CIDI (Robins et al 1988) short form Fragenprogramms zum Screening von „major depression“. Die Verdachtsdiagnose „major depression“ wurde ab einem Punktwert von 4 Punkten und mehr gestellt ((Nelson et al 2001), $p(\text{caseness}) \geq 0.81$).

Statistische Analyse:

Die statistische Analyse sollte klären, 1) welche Verbreitung (4-Wochen Prävalenz) diese Symptome in der Allgemeinbevölkerung haben, und ob 2) diese Symptome bei bestimmten Personengruppen als charakteristische Syndrome, also als gemeinsame Häufung einer bestimmten Symptomkonstellation, aufzufinden sind. Solche Syndrome könnten einen Hinweis auf das Vorliegen eines gemeinsamen nosologischen Hintergrundes darstellen und würden eine gezielte Suche nach möglichen Ursachen bei den betroffenen Personen ermöglichen (z.B. in künftigen Case-Control Studien). Zur Identifikation potenzieller EMF-bezogener Syndrome wurden latent-class Analysen (Rost 1996) sowohl für die dichotomisierten Beschwerden (nicht vorhanden / vorhanden) wie für die Beschwerden mit ordinalen Antwortkategorien (nicht vorhanden / gering / stark, vgl. (Masters 1988)) berechnet. Die Schätzung der Latent Class Modelle erfolgte mit dem Programm WinMira (von Davier 1994). Die Modellauswahl erfolgte anhand des Bayes Information Criterion, BIC, (Raftery 1995). 3) sollte für die latente Struktur der Beschwerden kein konfigurales Muster -, sondern sollten geordnete latente Klassen (als notwendige Voraussetzung für das Vorliegen eines latent trait, vgl. (Rost 1996), S. 165ff) aufgefunden werden, wurde a priori geplant, die Verträglichkeit des Datensatzes mit den Kriterien eines Rasch-Modells (Rasch 1980), bzw.

seiner polytomen Erweiterung, eines Partial-Credit-Modells (Masters 1982) im Sinne einer homogenen, quantifizierbaren Persönlichkeitseigenschaft zu erproben. Für die zugehörigen statistischen Analysen wurde das Programm WINSTEPS (Linacre 2000) eingeplant und die Fitmaße für die Übereinstimmung von Itemschwierigkeiten wie Personen-Antwortmustern (INFIT, OUTFIT, vgl. (Wright and Masters 1982)) mit den Erfordernissen einer Rasch-Skala berechnet.

2.2.2 Ergebnisse:

Die 4-Wochen Prävalenz in der Gesamtbevölkerung, sowie getrennt nach Geschlecht, ist in der Tabelle 1 für die 36 abgefragten Beschwerden wiedergegeben. Dabei wurden die Beschwerden in drei Gruppen unterteilt: In der ersten Gruppe sind diejenigen Beschwerden aufgelistet, für die statistisch bedeutsam bei Frauen eine höhere Prävalenz feststellbar war und der Risikoüberhang für Frauen mit $\geq 50\%$ berechnet wurde. Die mittlere Gruppe umfasst diejenigen Beschwerden mit zwar statistisch signifikantem Geschlechtsunterschied in der Prävalenz, aber einem Risikoüberhang der Frauen von weniger als 50%. Die letzte Gruppe bilden die Beschwerden ohne nachweisbaren Geschlechtsunterschied.

Die häufigsten sechs Beschwerden (alle mit einer 4-Wochen Prävalenz von über 50%) sind Mattigkeit, Tagesmüdigkeit, Kopfschmerzen, Konzentrationsprobleme, Nackenschmerzen und Muskelverspannungen. Auch für die Symptome Innere Unruhe, Schlafstörungen, trockene Haut, Probleme mit dem Kurzzeitgedächtnis, Schwindel, unregelmäßige Verdauung, und Kraftlosigkeit sind 4-Wochen Prävalenzen von über 33% zu registrieren, bei teilweise deutlich höherer Beschwerdenquote auf der Seite der Frauen. Insgesamt zeigt sich, dass von den 36 im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern genannten Beschwerden mehr als die Hälfte (19 Beschwerden) eine hohe Verbreitung im Sinne von mehr als 25% Betroffener in den letzten 4-Wochen besitzen.

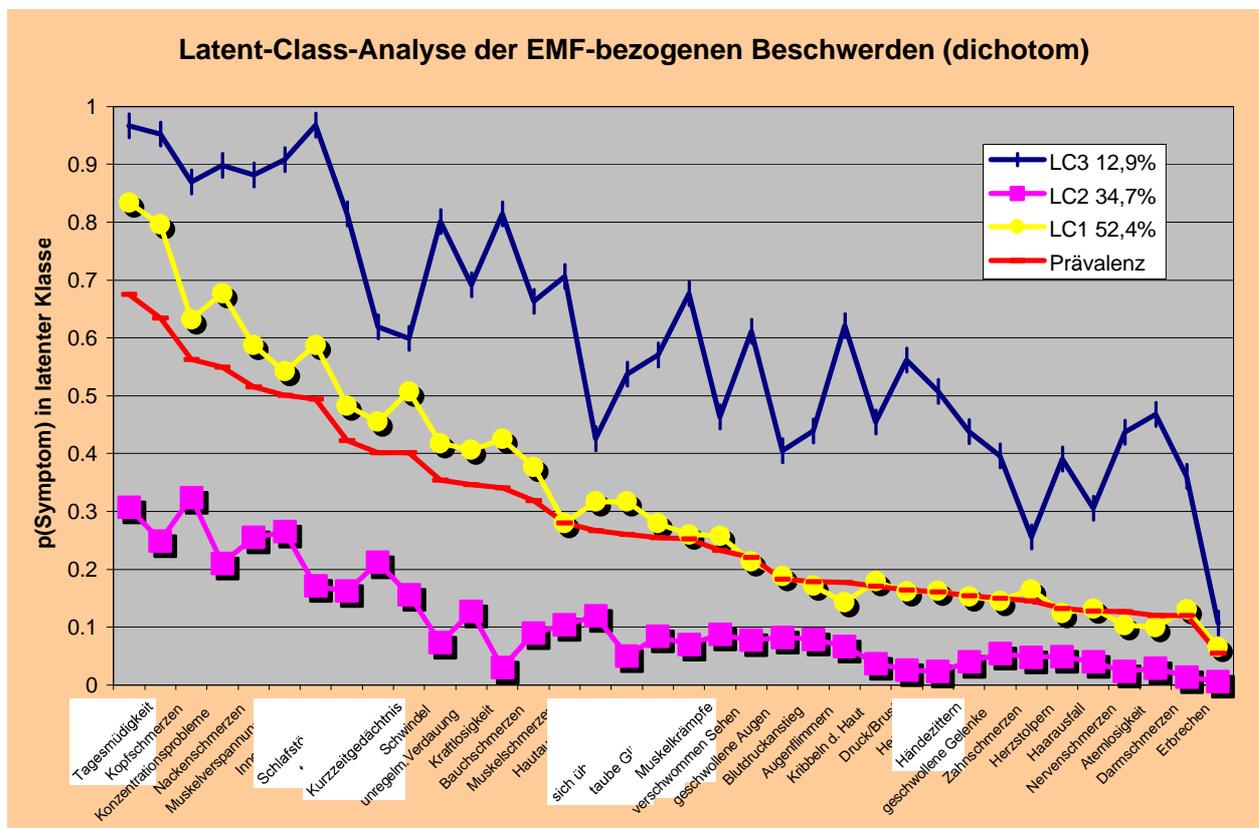
Beschwerden-Prävalenz nach Geschlecht

Beschwerde	Gesamt N	4-Wochen Prävalenz	95%- Konfidenzinter- vall		Prävalenz Männer	Prävalenz Frauen	Relatives Risiko Frauen	p geschl.- spezif. Untersch.	
			untere Grenze	obere Grenze					
Schwindel	742	35.4	32.0	38.9	23.9	46.3	1.94	<.0001	Risiko-über-
Kraftlosigkeit	745	34.1	30.7	37.5	27.2	40.7	1.50	0.0001	hang Frauen
Bauchschmerzen	746	31.9	28.6	35.2	22.7	40.6	1.79	<.0001	>= 50%
Hautausschlag	743	26.7	23.5	29.8	20.7	32.3	1.56	0.0004	
Übelkeit	743	26.0	22.8	29.1	19.1	32.5	1.70	<.0001	
geschwollene Augen	742	18.3	15.5	21.1	12.5	23.9	1.91	<.0001	
Druck/Brust	742	16.4	13.8	19.1	13.0	19.7	1.51	0.0143	
Herzrasen	741	16.1	13.4	18.7	10.3	21.6	2.11	<.0001	
geschwollene Gelenke	743	14.9	12.4	17.5	9.4	20.2	2.14	<.0001	
Herzstolpern	742	13.2	10.8	15.6	9.1	17.1	1.87	0.0015	
Haarausfall	741	12.8	10.4	15.2	7.2	18.2	2.52	<.0001	
Erbrechen	742	5.5	3.9	7.2	3.3	7.6	2.29	0.0106	
Mattigkeit	744	67.5	64.1	70.8	63.1	71.7	1.14	0.0126	Risiko-über-
Tagesmüdigkeit	747	63.5	60.0	66.9	58.5	68.2	1.16	0.0063	hang Frauen
Kopfschmerzen	746	56.3	52.7	59.9	47.5	64.7	1.36	<.0001	< 50%
Nackenschmerzen	746	51.5	47.9	55.1	42.5	59.9	1.41	<.0001	
Muskelverspannungen	744	50.1	46.5	53.7	44.3	55.6	1.25	0.0021	
Innere Unruhe	747	49.4	45.8	53.0	45.5	53.1	1.17	0.0363	
trockene Haut	744	40.2	36.7	43.7	32.2	47.8	1.48	<.0001	
unregelm. Verdauung	741	34.7	31.3	38.1	30.8	38.4	1.25	0.0283	
sich überhitzt fühlen	742	25.5	22.3	28.6	21.8	29.0	1.33	0.026	
taube Gliedmaßen	742	25.2	22.1	28.3	21.3	28.9	1.35	0.018	
Konzentrationsproble- me	747	54.9	51.3	58.5	51.4	58.2	1.13	0.06	keine nach- weisbaren
Schlafstörungen	743	42.3	38.7	45.8	39.8	44.6	1.12	0.1819	Geschlechts-
Kurzzeitgedächtnis	742	40.2	36.6	43.7	40.6	39.7	0.98	0.8089	unterschiede
Muskelschmerzen	742	28.0	24.8	31.3	26.0	30.0	1.16	0.2215	
Muskelkrämpfe	741	23.2	20.2	26.2	20.2	26.1	1.29	0.0602	
verschwommen Sehen	741	22.0	19.0	25.0	21.3	22.6	1.06	0.6689	
Blutdruckanstieg	739	17.9	15.1	20.6	16.4	19.2	1.17	0.3248	
Augenflimmern	742	17.8	15.0	20.5	18.3	17.3	0.95	0.7326	
Kribbeln d. Haut	742	17.1	14.4	19.8	16.1	18.1	1.13	0.46	
Händezittern	744	15.5	12.9	18.1	16.0	15.0	0.94	0.7012	
Zahnschmerzen	743	14.5	12.0	17.1	13.5	15.5	1.15	0.4331	
Nervenschmerzen	743	12.7	10.3	15.0	11.1	14.1	1.28	0.2105	
Atemlosigkeit	741	12.0	9.7	14.4	10.8	13.1	1.21	0.3379	
Darmschmerzen	743	12.0	9.6	14.3	10.3	13.6	1.33	0.1582	

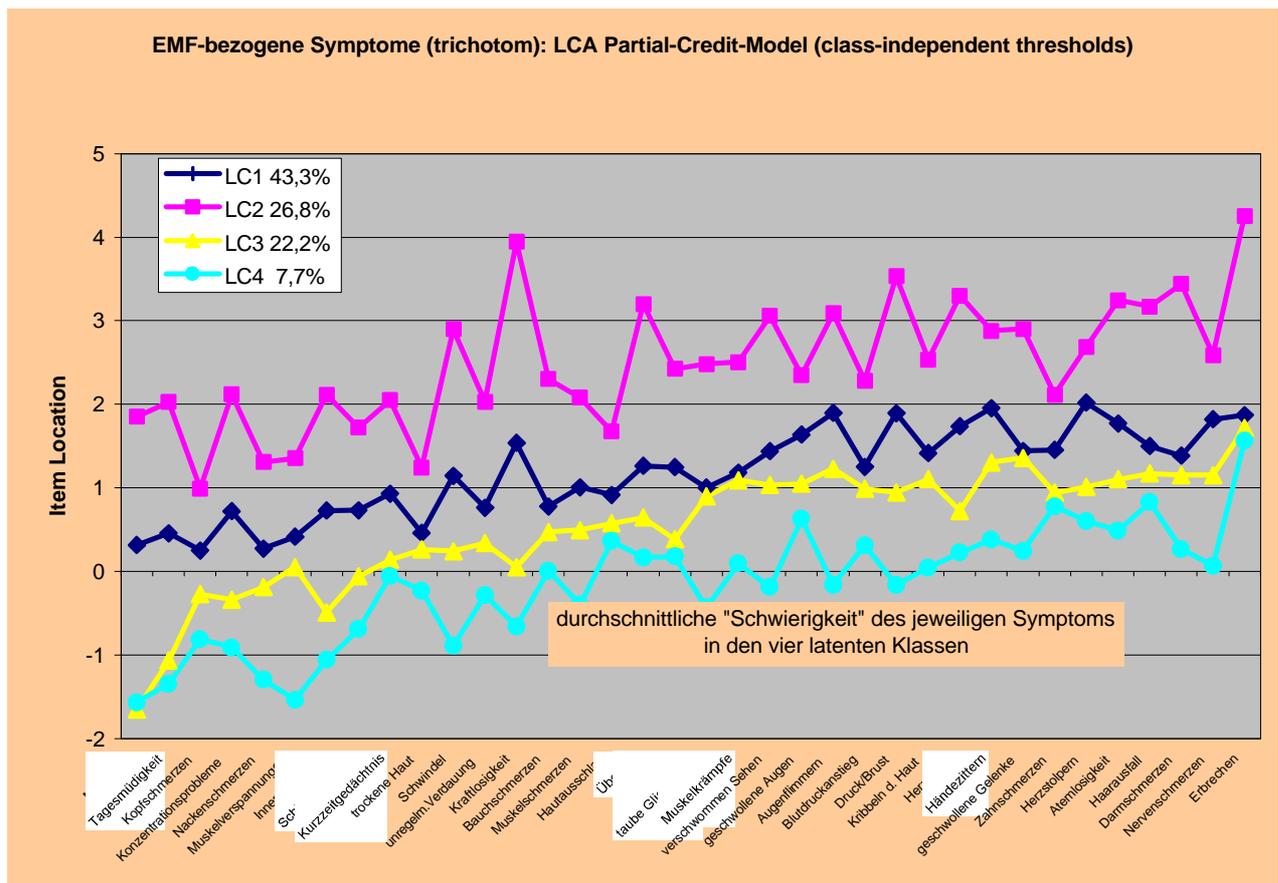
Die Analyse der latenten Struktur der EMF-bezogenen Beschwerden erbrachte für die dichotomisierten (Symptom präsent? J/N) Items nach dem BIC-Kriterium eine Drei-Klassen-Lösung als die angemessenste Repräsentation der Daten. Die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen jeder Beschwerde in den drei Personengruppen wurde in Abbildung 1 dargestellt. Die Symptome wurden nach ihrer Prävalenz von links nach rechts geordnet. Die größte der latenten Klassen (LC1, gut 52%) zeigt eine durchschnittliche Symptomausprägung, die sehr

dicht an der Prävalenzrate der Beschwerden in der Gesamtpopulation verläuft. Die beiden anderen Personengruppen liegen jeweils in der Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Beschwerde entweder deutlich unter (LC2, rund 35%) oder deutlich über (LC3, rund 13%) dem Beschwerderisiko des Bevölkerungsdurchschnitts. Die Gruppen sind auf allen Symptomen hinsichtlich der Ausprägungswahrscheinlichkeit geordnet.

Berücksichtigt man die Information über die Intensität, mit der die Befragten das jeweilige Symptom empfunden haben, in der dreistufigen Ausprägung „gar nicht“, „ein bißchen“ und „mäßig/stark“, dann ergibt sich in der latenten Struktur der EMF-bezogenen Beschwerden eine feinere Aufgliederung in insgesamt vier latente Klassen als die zu favorisierende Lösung. Genau wie bei der Lösung für die dichotomisierten Beschwerden zeigen sich im trichotomen Falle die Profile der vier Klassen nach Intensität der Symptomausprägung über alle Beschwerden hinweg als klar geordnet.



Lediglich bei den beiden an den Extremen der Prävalenz stehenden Items „Mattigkeit“ und „Erbrechen“ liegen die sogenannten „item locations“ für die latenten Klassen 3 und 4 so dicht beieinander, dass sie bezüglich dieser beiden Items nicht mehr voneinander unterschieden werden können. Während in Abbildung 1 die Ordinate die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Symptoms abbildet, Beschwerden-belastete Personengruppen also weiter oben in der Graphik dargestellt werden, ist die Bedeutung der y-Achse in Abbildung 2 genau umgekehrt. Hier ist die durchschnittliche „Schwierigkeit“ dargestellt, die das jeweilige Symptom für die Klassenmitglieder annimmt. Das bedeutet, dass für Personen mit hoher Symptombelastung diese Fragen eben nicht schwierig, sondern „leicht“ zu bejahen sind. Deshalb meint in Abbildung 2 die kleinste der latenten Klassen in der untersten Position (LC4 mit 7,7%) diejenige Personengruppe mit den intensivsten Beschwerden. Die Kurven steigen alle nach rechts an, weil dort die selteneren Beschwerden abgetragen sind, mithin also das Erreichen eines solchen Symptoms „schwieriger“ wird.



Für beide Betrachtungsweisen der EMF-bezogenen Beschwerden, - dichotomes Vorliegen der Beschwerde oder Intensitäts-gestuftes Vorkommen, - ergibt sich jeweils empirisch eine geordnete Struktur der latenten Klassen, bei der alle Beschwerden für alle latenten Klassen dieselbe Schwierigkeitsabfolge annehmen. Dies ist eine Vorbedingung dafür, dass eine noch restriktivere Annahme über die latente Struktur der EMF-bezogenen Beschwerden erprobt werden kann: Möglicherweise messen alle Beschwerden bei allen Personen dieselbe, latente, quantitativ ausgeprägte und homogene Persönlichkeitsvariable? Diese Hypothese wurde in Tabelle zwei durch die Schätzung der Parameter eines Rasch-Modells (dichotome Items), bzw. eines Partial-Credit-Modells (trichotome Items) überprüft.

Beide Fit-Kriterien für die Passung der 36 Items in eine dichotome Rasch-Skala wie in eine trichotome Partial-Credit-Skala erreichen exzellente Werte. Alle INFIT Werte erfüllen das restriktive Kriterium $0,7 < \text{INFIT} < 1,3$. Lediglich im polytomen Falle liegen Zahnschmerzen, Hautausschlag und Blutdruckanstieg bezüglich des OUTFIT-Kriteriums leicht über diesem Wertebereich, was darauf hindeutet, dass Personengruppen existieren, die bei diesen drei Beschwerden etwas von der sonst vorherrschenden Schwierigkeitsabfolge abweichende Antworten geben. Aber mit Werten bis maximal 1,51 für den „mean square error“ sind diese Beschwerden noch weit vom kritischen Wert von 2,0 (Linacre and Wright 1994) entfernt, ab dem die gesamte Skala als heterogen und nicht dem Prinzip einer spezifisch objektiven Messung folgend bezeichnet werden müsste.

**Tab. 2: EMF-bezogene Beschwerden:
Modell-Fit des Partial-Credit-Modells und des Rasch-Modells**

trichotome Antwortkategorien (n=714)						Beschwerde	dichotome Antwortkategorien (n=693)					
Ability	real s.e.	Infit		Outfit			Ability	real s.e.	Infit		Outfit	
		Mean Square	Z	Mean Square	Z				Mean Square	Z	Mean Square	Z
0.42	0.08	1.14	1.60	1.51	2.40	Zahnschmerzen	0.99	0.13	1.13	1.60	1.30	1.70
-0.08	0.07	1.20	3.30	1.40	3.10	Hautausschlag	0.01	0.10	1.13	2.90	1.24	2.40
0.29	0.07	1.07	0.90	1.40	2.40	Blutdruckanstieg	0.65	0.11	1.04	0.60	1.30	2.10
-0.60	0.06	1.21	4.50	1.33	3.60	trockene Haut	-0.74	0.09	1.12	3.30	1.19	2.90
-1.00	0.06	1.15	3.50	1.21	3.50	Kopfschmerzen	-1.62	0.09	1.11	2.90	1.15	2.50
0.55	0.08	1.07	0.80	1.15	1.00	geschwollene Augen	0.60	0.11	1.09	1.50	1.12	0.90
1.15	0.12	1.12	0.70	1.13	0.40	Erbrechen	2.24	0.19	1.05	0.30	1.04	0.10
-0.30	0.06	1.04	0.80	1.12	1.30	unregelm. Verdauung	-0.49	0.09	1.02	0.50	1.05	0.70
-0.56	0.05	0.99	-0.20	1.12	1.60	Schlafstörungen	-0.86	0.09	1.01	0.20	1.05	0.90
0.62	0.09	1.12	1.10	1.11	0.60	Haarausfall	1.13	0.13	1.05	0.60	1.13	0.70
0.72	0.08	0.96	-0.50	1.11	0.70	Händezittern	0.85	0.11	0.99	-0.20	1.11	0.70
0.01	0.06	1.05	0.80	1.09	0.70	überhitzt	0.10	0.10	1.03	0.70	1.08	0.80
-0.28	0.06	1.06	1.20	1.08	1.10	Kurzzeitgedächtnis	-0.77	0.09	1.07	2.20	1.15	2.30
-0.19	0.06	1.09	1.60	1.06	0.70	Bauchschmerzen	-0.31	0.09	1.00	0.10	0.98	-0.20
0.24	0.07	1.04	0.60	1.05	0.40	Muskelkrampe	0.26	0.10	1.08	1.60	1.07	0.70
-0.15	0.06	0.96	-0.70	1.03	0.30	Muskelschmerzen	-0.06	0.09	0.98	-0.50	1.07	0.80
-0.93	0.05	1.00	0.10	1.02	0.40	Nackenschmerzen	-1.37	0.09	1.02	0.50	1.01	0.10
-0.02	0.06	0.99	-0.20	1.02	0.20	taube Gliedmaßen	0.11	0.10	0.97	-0.60	0.94	-0.60
-0.80	0.05	1.01	0.30	1.01	0.20	Muskelverspannungen	-1.28	0.09	1.03	1.00	1.01	0.10
0.33	0.07	1.00	0.00	0.98	-0.10	Kribbeln Haut	0.72	0.11	0.96	-0.60	0.92	-0.60
0.47	0.08	0.91	-1.00	0.97	-0.10	Nervenschmerzen	1.18	0.12	0.92	-0.90	0.95	-0.30
0.63	0.08	0.98	-0.20	0.95	-0.30	Atemlosigkeit	1.13	0.12	0.95	-0.60	0.88	-0.70
0.47	0.08	0.98	-0.30	0.95	-0.30	geschwollene Gelenke	0.89	0.12	1.02	0.20	1.01	0.10
0.70	0.08	1.04	0.40	0.94	-0.30	Herzstolpern	1.03	0.12	1.03	0.50	1.05	0.30
0.27	0.07	0.98	-0.20	0.94	-0.50	verschwommen Sehen	0.32	0.10	0.97	-0.50	0.96	-0.30
-0.65	0.06	0.93	-1.60	0.94	-1.30	Konzentrationsprobleme	-1.55	0.09	0.96	-1.20	0.95	-0.90
0.50	0.08	0.92	-1.00	0.91	-0.70	Augenflimmern	0.61	0.11	0.93	-1.10	1.04	0.30
0.14	0.07	1.03	0.40	0.90	-0.90	Uebelkeit	0.07	0.10	1.03	0.60	0.94	-0.60
-0.69	0.05	0.90	-2.60	0.89	-1.90	Innere Unruhe	-1.27	0.09	0.91	-2.70	0.88	-2.40
-0.99	0.06	0.87	-3.30	0.85	-3.40	Tagesmüdigkeit	-2.01	0.09	0.88	-3.10	0.83	-2.70
-1.21	0.06	0.86	-3.60	0.84	-3.70	Mattigkeit	-2.26	0.09	0.87	-2.90	0.80	-2.80
0.45	0.08	0.99	-0.10	0.81	-0.90	Darmschmerzen	1.16	0.12	0.97	-0.30	0.82	-1.10
-0.22	0.06	0.88	-2.50	0.77	-3.00	Schwindel	-0.50	0.09	0.92	-2.20	0.84	-2.50
0.38	0.07	0.95	-0.60	0.76	-1.60	Herzrasen	0.78	0.11	0.94	-0.90	0.82	-1.30
0.42	0.07	0.89	-1.30	0.71	-2.00	Druck Brust	0.72	0.11	0.90	-1.60	0.75	-2.00
-0.10	0.06	0.83	-3.40	0.70	-3.90	Kraftlosigkeit	-0.44	0.09	0.85	-4.50	0.74	-4.00

Der Summenwert aus den trichotomisierten Antworten der ProbandInnen bildet nach den Ergebnissen der psychometrischen Analysen die beste Schätzung für die in den 36 Items gemessene latente Eigenschaft, die vorläufig „EMF-bezogene Beschwerden“ genannt wurde. Der statistische Zusammenhang dieser Variable mit diversen anderen Merkmalen der Personen wurde in Tabelle 3 zusammengestellt, um die inhaltliche Bedeutung dieses Skalenwerts näher beschreiben zu können. Im Durchschnitt wurden von den Regensburger BürgerInnen 11,7 nach Intensität gewichtete Beschwerden (S.D. 8,1) für die vergangenen 30 Tage berichtet. Frauen geben im Schnitt um knapp vier Punkte stärkere Beschwerden

an als Männer ($p < 0.001$). Das Lebensalter spielt für die Intensität der berichteten Beschwerden keine bedeutsame Rolle, wobei beachtet werden muss, dass nur 18 bis 64-jährige befragt wurden. Bildung und Berufstätigkeit stehen im nachweisbaren Zusammenhang mit der geäußerten Beschwerdezahl: Personen mit Abitur geben etwas weniger Beschwerden an, ebenso in Vollzeit Berufstätige, sowie nur vorübergehend beruflich Freigesetzte (z.B. im Erziehungsurlaub stehende Befragte).

Tabelle 3: Mittlerer Beschwerden-Score (trichotomisiert) in verschiedenen Subgruppen

Variable	Ausprägung					F	df 1	p
							df 2	
Geschlecht	Männer	Frauen	Gesamt			Test auf Unterschied		
Mittelwert	9.86	13.51	11.73			39.177	1	0.000
S.D.	7.52	8.30	8.13				737	
Alter	18-28 J.	29-38 J.	39 - 48 J.	49 - 58 J.	59 - 64 J.	Test auf Unterschiede		
Mittelwert	11.13	11.75	11.47	12.47	11.75	< 1	4	n.s.
S.D.	7.04	7.77	7.83	9.09	8.86		734	
Schulbildung	Volks- / Hauptschule	Mittlere Reife	Abitur			Test auf Unterschiede		
Mittelwert	12.37	12.81	10.49			3.196	7	0.002
S.D.	8.42	9.11	6.64				731	
Berufstätigkeit	nicht berufstätig	Teilzeit < 15h	Teilzeit > 15 h	Vollzeit	Erziehungsurlaub	Test auf Unterschiede		
Mittelwert	12.88	11.95	13.84	10.61	9.00	2.847	7	0.006
S.D.	9.23	7.20	8.11	7.51	5.76		729	
Alkoholkonsum	(fast) täglich	1 / Woche	2-5 / Monat	1-2 / Monat	nie	Test auf Unterschiede		
Mittelwert	11.00	11.30	11.21	10.85	16.17	4.830	7	0.000
S.D.	7.72	7.67	7.39	6.36	9.97		730	
Rauchen	noch nie	früher (>1 Jahr)	früher (< 1 J.)	täglich	gelegentlich	Test auf Unterschiede		
Mittelwert	11.45	11.56	9.24	12.50	12.70	1.098	4	0.356
S.D.	7.63	7.96	6.25	9.01	8.91		732	
Benutzung eines Handys ?	nein	ja				Test auf Unterschied		
Mittelwert	12.38	11.40				2.364	1	0.125
S.D.	8.36	8.00					737	
Lärmbelästigung Wohnung?	nein	ja				Test auf Unterschied		
Mittelwert	10.50	12.62				6.775	1	0.010
S.D.	7.39	8.50					736	

Geruchsbelästigung Wohnung?	nein	ja				Test auf Unterschied				
Mittelwert	11.42	13.75				7.222	1	0.007		
S.D.	7.85	9.54					736			
Lärm / Gase Arbeit?	nein	ja				Test auf Unterschied				
Mittelwert	10.52	13.27				11.960	1	0.001		
S.D.	7.20	8.72					508			
Stress am Arbeitsplatz?	nein	ja				Test auf Unterschied				
Mittelwert	9.35	12.23				16.879	1	0.000		
S.D.	6.79	7.95					506			
Major Depression	CIDI-SF: ja	CIDI-SF: nein				Test auf Unterschied				
Mittelwert	18.12	10.09				92.611	1	0.000		
S.D.	10.10	6.83					641			
Subjektive Schlafqualität	PSQI 0-2	PSQI 3-4	PSQI 5-6	PSQI > 6				Test auf Unterschiede		
Mittelwert	6.25	9.64	12.21	17.99				83.86	3	0.000
S.D.	4.88	5.37	6.92	9.58					686	

Die gesundheitsrelevanten Verhaltensweisen Tabak- und Alkoholkonsum zeigen voneinander abweichende Resultate: Während für den Raucherstatus kein Zusammenhang zu den Beschwerden erkennbar ist, gilt beim Alkoholkonsum, dass Abstinente deutlich mehr Beschwerden äussern als die übrigen Gruppen. Eine Aufteilung nach Lebenszeit-Abstinenz versus später induzierter Abstinenz (z.B. aus Gesundheitsgründen) war beim Alkoholkonsum nicht möglich. Wenn die Befragten in ihrer Wohnumgebung oder an ihrem Arbeitsplatz besondere Stressoren wahrnehmen, wie zum Beispiel Lärm, Gase, Gerüche oder soziale Stressoren (z.B. Leistungsdruck oder schlechtes Arbeitsklima), dann ist das jeweils verbunden mit einer signifikant höheren Beschwerdezahl. Schließlich zeigten sich noch statistisch wie inhaltlich hoch bedeutsame Zusammenhänge der Beschwerdezahl mit der subjektiven Schlafqualität (gemessen über PSQI, vgl. (Buysse et al 1989)) und der Verdachtsdiagnose einer Major Depression. Personen, die die Kriterien des WHO-CIDI (Short Form) für die Diagnose einer Major Depression erfüllen (n=91), äussern im Schnitt um rund acht Punkte mehr Beschwerden als die übrigen Befragten. Je stärker die Befragten über Schlafstörungen berichten, umso mehr Beschwerden geben sie auch auf der Skala EMF-bezogener Beschwerden an. In Tabelle 3 wurden die Quartile der Verteilung im Global Score des Pittsburgh Sleep Quality Index angetragen. Im ersten (gut schlafenden) Quartil werden durchschnittlich nur 6,3 Beschwerden für die letzten 30 Tage berichtet, während im schlechtest schlafenden Quartil (> 6 Punkte im Global Score) für dieselbe Zeit annähernd dreimal so viele Beschwerden (rund 18) berichtet werden.

2.2.3 Diskussion:

Beschwerden, die in der wissenschaftlichen Literatur und/oder von subjektiv „elektrosensiblen“ Personen als diejenigen Symptome benannt wurden, die möglicherweise im Zusammenhang stehen mit der Exposition an elektromagnetische Felder, sind zu einem großen Teil in der Bevölkerung sehr weit verbreitet. Mehr als die Hälfte aller aufgelisteten Beschwerden (19 von 36) besitzen eine 4-Wochen Prävalenz von über 25% in der relativ jungen Bevölkerung zwischen 18 und 64 Jahren einer kleineren Großstadt. Tagesmüdigkeit und Mattigkeit als häufigste Beschwerden werden sogar von bis zu zwei Dritteln aller Be-

fragten als akute Beschwerden der letzten 30 Tage genannt. Die hier berichteten Zahlen können wegen des Ziehungsmechanismus einer repräsentativen Stichprobe benutzt werden als erste Schätzung der Basisrate der Prävalenz von EMF-bezogenen, subjektiven Beschwerden in der Allgemeinbevölkerung. Die Expositionssituation in Regensburg wurde zeitnah zur hier vorgelegten Befragung flächendeckend vermessen und als unbedenklich, weil in weitem Abstand zu den gesetzlichen Grenzwerten liegend, eingestuft (Regensburg 2002). Patientengruppen, die entweder aufgrund einer vermuteten (oder gemessenen) erhöhten Exposition an Elektromagnetische Felder jedweder Art, oder die aufgrund einer vermeintlich erhöhten individuellen Sensitivität gegenüber EMF über eine Häufung von Beschwerden klagen, sollten sich von dieser Basisrate unterscheiden. Von einer im statistischen Sinne auffälligen „Häufung“ von Beschwerden kann nach unseren Ergebnissen z.B. dann gesprochen werden, wenn Frauen mehr als 29 Punkte in der beschriebenen Skala erreichen (oberste 5% der Eichstichprobe), oder wenn Männer mehr als 24 Punkte erreichen (oberste 5%).

Ein wichtiges Ergebnis unserer Studie besteht weiterhin in der Klärung der Frage, inwieweit bestimmte Symptome im Sinne eines potenziellen „EMF-Syndroms“ überzufällig häufig gemeinsam auftreten. Epidemiologisch würde ein „EMF-Syndrom“ bedeuten, dass in der Allgemeinbevölkerung eine (oder mehrere) Gruppe(n) vorfindbar sind, die sich jeweils durch ein charakteristisches Muster von Beschwerden auszeichnen. Methodologisch wurde die Suche nach solchen Syndromen dadurch aufgenommen, dass über Latent Class Modelle beliebige Ausprägungsmuster (so sie denn existieren) bei den 36 Beschwerden die Chance hatten, sich als „Typen“ von EMF-Beschwerden in der Analyse der Daten im wahren Wortsinne zu profilieren. Weder in der dichotomisierten Betrachtung, noch in der nach Schweregrad gewichteten Betrachtung der Beschwerden ergaben sich jedoch Hinweise, die für eine kleine Gruppe von Personen mit einem spezifischen Beschwerdeprofil sprachen. Im Gegenteil wiesen die Analysen darauf hin, dass keine qualitative Unterscheidung der Personen nach einem Beschwerdeprofil sinnvoll ist (latent class Struktur), sondern dass eine quantitative Unterscheidung nach „viel“ versus „wenig“ Beschwerden der latenten Struktur der Daten sehr viel besser entspricht (latent trait). Auch weitere Skalierungsversuche (Mayer 2002), welche die potenzielle Subgruppe eines „EMF-Syndroms“ in der Allgemeinbevölkerung aufzufinden suchten mittels sogenannter Mixed-Rasch-Modelle (Rost 1990) oder Hybrid-Modelle (Yamamoto and Everson 1997), zeigten sich als für die Daten weitaus weniger angemessene Repräsentationen, als sie die von der Interpretation der Sachlage her „simple“, aber messtheoretisch weitaus restriktivere Vorstellung eines homogenen latent traits darstellt. M.a.W., bei einer Stichprobengröße von knapp 800 zufällig aus der Bevölkerung gezogenen Personen läßt sich kein irgendwie geartetes, charakteristisches „EMF-Syndrom“ nachweisen. Stattdessen gibt es eine klar messbare Persönlichkeitseigenschaft, wie stark jemand unter den aufgeführten Beschwerden leidet.

Ob diese Beschwerdenlast ausschließlich oder in Teilen mit der Exposition an elektromagnetische Felder in Verbindung steht, ist im gegenwärtigen Moment noch eine offene Frage, wurde aber im weiteren Fortgang der Regensburger Machbarkeitsstudie experimentell untersucht. Es fällt aber schon jetzt zu diesem Zeitpunkt des Berichts auf, dass die 36 hier aufgelisteten Beschwerden in ähnlicher Form und Zusammensetzung auch in anderen Messinstrumenten zu Umwelt-attribuierten Beschwerdenkomplexen vorhanden sind (z.B. (Bullinger et al 1993) (Hüppe et al 2000)). Hohe Ähnlichkeit besteht ebenfalls mit der viel früher veröffentlichten, und ausserhalb jeder Umweltdiskussion entwickelten Beschwerdenliste BL (von Zerßen 1976), die sich ihrerseits ebenfalls als Rasch-skalierbare Skala erwiesen hat (Koloska et al 1989). Für die Beschwerdenliste ist die theoretische Einbettung in das Coping-Konzept die überzeugendste Deutung des zugrundeliegenden Messgegenstandes. Danach bildet der Summenscore der BL einen Gradmesser der psychischen Überforderung eines Individuums, wie sie entsteht aus dem Ungleichgewicht zwischen den individuellen Bewältigungsmöglichkeiten (coping) und den erlebten Wirkungen der Umwelt. Rehm et al. (Rehm et al 1988) vermuten anhand der Daten der repräsentativen

oberbayerischen Verlaufsstudie, dass BL, PERI-Demoralisationsskala, Goldberg-Interview und Social Interview Schedule alle das gleiche theoretische Konstrukt messen, nämlich „Demoralisation“ ((Frank and Frank 1991); vgl. auch (Koloska 1994)). Auch für die hier vorgelegte Skala umweltbezogener Beschwerden lässt sich nachweisen, dass nicht nur ein klarer Zusammenhang mit Depressivität besteht (Tab.3), sondern dass perzipierte Stressoren aus der Umwelt einhergehen mit erhöhter Beschwerdenlast: Dies gilt sowohl für soziale Stressoren (Belastungen am Arbeitsplatz durch Zeitdruck, Arbeitsklima, Sorge um den Arbeitsplatz) wie für Umweltstressoren. Dass Umwelt bezogene Stressoren dabei als perzipierte Umwelt, und nicht notwendigerweise als objektive Expositionsbedingung wirken, wird am Beispiel des Lärms deutlich: Sowohl für die Wohnung wie für den Arbeitsplatz gilt, dass von den Befragten berichteter Lärm verbunden ist mit einem höheren Symptomscore in der Liste EMF-bezogener Beschwerden (Tab. 3). Fragt man dieselben Probanden aber nach der Lage ihrer Wohnung und gibt als Antwortkategorien unterschiedlich intensive Befahrungsstufen der Straße vor (Fragenformulierung ident zum Bundesgesundheitsurvey), dann kann für diese Frage kein statistischer Zusammenhang mit den Beschwerden gesichert werden (ohne gesonderte Tabelle: $F=1,778$; $df = 4, 732$; $p=0.131$).

Was bedeutet dieser Hinweis auf die Nähe des Messgegenstands zum Konzept der Demoralisation für die weitere Erforschung des Themas „Elektrosensibilität“? Zunächst muss festgehalten werden, dass –unabhängig von den Ergebnissen jeglicher weiterer Forschung – für Personen mit einer hohen Beschwerdenlast in jedem Fall die Frage ihres „Demoralisierungszustands“ geklärt werden sollte, denn Demoralisation hat sich in Verlaufsstudien als Prädiktor für affektive Erkrankungen erwiesen (Fichter et al 1988). Des weiteren muss nun geklärt werden, inwieweit zwischen der gemessenen Beschwerdenlast und der Exposition an EMF bzw. einer erhöhten individuellen Sensitivität gegenüber EMF ein Zusammenhang besteht. Im weiteren Prozedere der Regensburger Machbarkeitsstudie wurden daher 1) hoch mit Beschwerden belastete Personen, und 2) niedrig mit Beschwerden belastete Personen aus der Allgemeinbevölkerung zu einer vertiefenden, experimentellen Bestimmung ihrer Wahrnehmungsschwelle für magnetische Impulse (transkraniale Stimulation am motorischen Kortex) unter Doppelblindbedingungen eingeladen (siehe Abschnitt 3 dieses Berichts). Die Ergebnisse können dazu beitragen, einen möglichen Zusammenhang der Beschwerden mit einer möglichen erhöhten Sensibilität gegenüber EMF zu klären. Zur Gegenkontrolle, ob subjektiv in ihrem Selbsterleben „elektrosensibel“ Personen einerseits eine hohe Beschwerdenlast auf dem neu entwickelten Symptomscore EMF-bezogener Beschwerden zeigen, und ob sie andererseits eine gegenüber den beiden ersten Untersuchungsgruppen veränderte Wahrnehmungsschwelle für Magnetimpulse besitzen, wurden Betroffene via Presseaufruf zur selben Untersuchung in das Regensburger Klinikum eingeladen. Über die Feldphase II wird im nachfolgenden Abschnitt berichtet.

2.3 Literatur zu Kapitel 2

- Ahlbom I, Cardis E, Green A, et al (2001): Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect* 109:911-933.
- Arnetz B, Berg M, Arnetz J (1997): Mental strain and physical symptoms among employees in modern offices. *Arch. Environ. Health* 52:63-67.
- Beale IL, Pearce NE, Conroy DM, Henning MA, Murrell KA (1997): Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in humans living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics* 18:584-594.
- Bellach B (1999): Der Bundes-Gesundheitssurvey 1998 - Erfahrungen, Ergebnisse, Perspektiven. *Das Gesundheitswesen* 61:3-6.
- Bergdahl J, Tillberg A, Stenman E (1998): Odontologic survey of referred patients with symptoms allegedly caused by electricity or visual display units. *Acta Odontol. Scand* 56:303-307.
- Bertoft G (1996): Screening of medical and dental history of patients with chronic orofacial pain and discomfort using a questionnaire. *Swed. Dent. J* 20:95-106.
- Bortkiewicz A, Zmyslony M, Gadzicka E (1996): Evaluation of selected parameteres of circulatory system functions in various occupational groups exposed to high frequency electromagnetic fields. II. Electrocardiographic changes. *Med. Pract* 47:241-252.
- Bullinger M, Frick U, Kirchberger I, von Mackensen S, Hasford J (1993): Erfassung des Sick-Building-Syndromes. Grundlagen, Methoden und Ergebnisse einer Voruntersuchung an Beschäftigten in klimatisierten Gebäuden. In W. Bischof MD, W. Schmid (ed), *Sick Building Syndrome*. Karlsruhe: C.F. Müller, pp 88-96.
- Burch J, Reif J, Yost M, Keefe T, Pitrat C (1999): Reduced excretion of a melatonin metabolite in workers exposed to 60hz magnetic fields. *Am J Epidemiol* 150:27-36.
- Buysse D, Reynolds Cr, Monk T, Berman S, Kupfer D (1989): The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 28:193-213.
- Davanipour Z, Sobel E, Bowman J, Qian Z, Will A (1997): Amyotrophic lateral sclerosis and occupational exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 18:28-35.
- Eis D, Geisel U, Sonntag H (1995): Erfahrungen mit einer Ambulanz für Umweltmedizin am Hygieneinstitut der Universitätsklinik Heidelberg. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed* 197:212-221.
- Eriksson N, Hoog J, Sandstrom M, Stenberg B (1997): Facial skin symptoms in office workers. A five-year follow-up study. *J Occup Environ Med* 39:108-118.
- Erren T (2001): A meta-analysis of epidemiologic studies of electric and magnetic fields and breast cancer in women and men. *Bioelectromagnetics* 22:S105-119.
- Fichter M, Rehm J, Witzke W, et al (1988): Verlauf affektiver Störungen in der oberbayerischen Feldstudie: Ein lineares Kausalmodell verlaufsbeeinflussender Faktoren. In Möller DvZHZJ (ed), *Affektive Störungen. Diagnostische, epidemiologische, biologische und therapeutische Aspekte*. Berlin: Springer, pp 84-98.
- Flodin U, Seneby A, Tegenfeldt C (2000): Provocation of electric hypersensitivity under everyday conditions. *Scandinavian J of Work, Environment & Health* 26:93-98.
- Frank J, Frank J (1991): *Persuasion and Healing. A comparative study of psychotherapy.*, 3rd ed. ed. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Gangi S, Johannsen O (2000): A theoretical model based upon mast cells and histamine to explain the recently proclaimed sensitivity to electric and/or magnetic fields in humans. *Medical Hypotheses* 54:663-671.
- Gurney J, van Wijngaarden E (1999): Extremely low frequency electromagnetic fields (EMF) and brain cancer in adults and children: review and comment. *Neuro-oncol* 1:212-220.
- Harlacher U, Schahn J (1998): "Elektrosensitivität" - ein psychologisches Problem? In Kals E (ed), *Umwelt und Gesundheit. Die Verbindung ökologischer und gesundheitlicher Ansätze*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, pp 151-196.
- Hüppe M, Ohnsorge P, Krauß B, Schmucker P (2000): Der MCS-Fragebogen: Erste Befunde eines neuen Verfahrens zur Beschreibung MCS-auslösender Stoffe und Symptome. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 3:143-153.
- Hyland GH (2000): Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 356:1833-1836.
- Koloska R (1994): *Messung von Demoralisation*. Ludwigsburg: Wissenschaft und Praxis.
- Koloska R, Rehm J, Fichter M (1989): Ist die Beschwerdenliste valide? *Diagnostica* 35:248-259.
- Kröling P (1998): Krank durch "Elektrosmog"? *Skeptiker* 11:89-96.
- Li C, Sung F, Wu S (2002): Risk of cognitive impairment in relation to elevated exposure to electromagnetic fields. *J Occup Environ Med* 44:66-72.

- Lichtenstein S, Slovic P, Fischhoff B, Layman M, Combs B (1978): Judged frequency of lethal events. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 4:551-578.
- Linacre J (2000): WINSTEPS Rasch measurement. Pittsburgh: MESA Press.
- Linacre J, Wright B (1994): Chi-Square Fit Statistics. *Rasch Measurement Transactions* 8:350.
- MacGregor D, Slovic P, Morgan M (1994): Perception of risks from electromagnetic fields: a psychometric evaluation of a risk-communication approach. *Risk Anal* 14:815-828.
- Masters G (1982): A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika* 47:149-174.
- Masters G (1988): Measurement Models for Ordered Response Categories. In Rost RLJ (ed), *Latent Trait and Latent Class Models*. New York: Plenum, pp 11-30.
- Mayer M (2002): Psychometrische Untersuchung von EMF-bezogenen Beschwerden, *FB Psychologie*. Regensburg: Universität Regensburg.
- McCann J (1998): Cancer risk assessment of extremely low frequency electric and magnetic fields: a critical review of methodology. *Environ Health Perspect* 106:701-717.
- Müller CH (2000): Projekt NEMESIS - Niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Elektrosensibilität in der Schweiz. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule.
- Müller CH, Krüger H, Schierz C (2002): Project NEMESIS: perception of a 50 Hz electric and magnetic field at low intensities (laboratory experiment). *Bioelectromagnetics* 23:26-36.
- Nelson C, Kessler R, Mroczek D (2001): Scoring the World Health Organization's Composite International Diagnostic Interview Short Form. Geneva: World Health Organisation.
- Nilsson C, Gothe C, Molin C (1994): Environmental somatization syndrome. How to deal with the external milieu syndrome? *Nord. Med.* 109:121-125.
- Oftedal G, Vistnes A, Rygge K (1995): Skin symptoms after the reduction of electric fields from visual display units. *Scand J Work Environ Health* 21:335-344.
- Orth B (1974): *Einführung in die Theorie des Messens*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Raftery AE (1995): Bayesian model selection in social research (with discussion by Andrew Gelman, Donald B. Rubin and Robert M. Hauser). In Marsden PV (ed), *Social methodology 1995*. Oxford: Blackwells, pp 111-196.
- Rasch G (1980): *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*, 2nd edition ed. Chicago: University of Chicago Press.
- Regensburg UdS (2002): Mobilfunk-Pilotprojekt Regensburg. Regensburg: Stadt Regensburg, pp Flyer.
- Rehm J, Witzke W, Fichter M, Koloska R (1988): Was messen psychiatrische Skalen? Ein empirischer Vergleich. *Diagnostika* 17:218-226.
- Renton C, Persinger M (1998): Elevations of complex partial epileptic-like experiences during increased geomagnetic activity for women reporting "premenstrual syndrome". *Percept. Mot. Skills* 86:240-242.
- Repacholi M (1998): Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 19:1-19.
- Robins L, Wing J, Wittchen H, et al (1988): The Composite International Diagnostic Interview. An epidemiologic instrument suitable for use in conjunction with different diagnostic systems and in different cultures. *Arch Gen Psychiatry* 45:1069-1077.
- Rost J (1990): Rasch models in latent classes: An integration of two approaches to item analysis. *Applied Psychological Measurement* 14:271-282.
- Rost J (1996): *Lehrbuch Testtheorie Testkonstruktion*. Bern: Huber.
- Sastre A, Cook M, Graham C (1998): Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromagnetics* 19:98-106.
- Schienze A, Stark R, Vaitl D (1998): Biological effects of very low frequency (VLF) atmospheric in humans: a review. *J of Scientific Exploration* 12:455-468.
- Sher L (2000): The effects of natural and man-made electromagnetic fields on mood and behavior: the role of sleep disturbances. *Med. Hypotheses* 54:630-633.
- Silny J (1998): Electrical hypersensitivity in humans - fact or fiction? *Zbl. Hyg. Umweltmed.* 202:219-233.
- Stenberg B, Eriksson N, Mild K, et al (1995): Facial skin symptoms in visual display terminal (VDT) workers. A case-referent study of personal, psychosocial, building- and VDT-related risk indicators. *Int J Epidemiol* 24:796-803.
- Toomingas A (1996): Provocation of the electromagnetic distress syndrome. *Scand. J. Work Environ. Health* 22:457-458.
- Trimmel M, Schweiger E (1998): Effects of an ELF (50Hz, 1 mT) electromagnetic field (EMF) on concentration in visual attention, perception and memory including effects of EMF sensitivity. *Toxicology Letters* 96,97:377-382.

- Verkasalo P, Kaprio J, Varjonen J, Romanov K, Heikkila K, Koskenvuo M (1997): Magnetic fields of transmission lines and depression. *Am. J. Epidemiol* 146:1037-1045.
- von Davier M (1994): WINMIRA A program system for analyses with the Rasch model, with the Latent Class Analysis, and with the Mixed Rasch Model. User Manual. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- von Zerssen D (1976): *Die Beschwerdenliste B-L. Manual*. Weinheim: Beltz.
- Wartenberg D (2001): Residential EMF exposure and childhood leukemia: meta-analysis and population attributable risk. *Bioelectromagnetics* 22:S86-104.
- Wright B, Masters G (1982): *Rating Scale Analysis - Rasch Measurement*. Chicago: MESA press.
- Yamamoto K, Everson H (1997): Modelling the effects of test length and test time on parameter estimation using the HYBRID model. In Langeheine JRR (ed), *Applications of Latent Trait and Latent Class Models in the Social Sciences*. Münster: Waxman, pp 89-98.
- Zyss T (1999): Epidemiological studies on neurotic disturbances, anxiety and depression disorders in a population living near an overhaed high voltage transmission line (400 kV). *Psychiatr. Pol.* 33:535-551.
- Zyss T, Dobrowolski J, Krawczyk K (1997): Neurotic disturbances, depression and anxiety disorders in the population living in the vicinity of overhead high-voltage transmission line 400 kV. *Med. Pr.* 48:495-505.

3 Feldphase II: Expositionsstudie („Können in Expositionsversuchen Personen mit besonderer Elektrosensibilität herausgefunden werden?“)

3.1 Stichprobenbeschreibung

3.1.1 Rekrutierung der ProbandInnen

Am 14.11.2001 erschien in der Regensburger Ausgabe der Mittelbayerischen Zeitung ein Bericht über die Prometheus-Studie, in deren Rahmen bereits seit Mai 2001 758 Regensburger zu umweltbezogenen Beschwerden befragt worden waren. Ziel des Artikels war die Gewinnung von UntersuchungsteilnehmerInnen, die sich selbst als „elektrosensibel“ bezeichneten - also angaben, eine gesteigerte Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern zu haben. In dem Artikel wurde kurz der Inhalt und die Fragestellung der Studie umrissen. Zur besseren Orientierung der Freiwilligen wurde ein zeitlicher Rahmen von zweieinhalb Stunden gesteckt, die für Organisatorisches und für den gesamten Durchlauf des Experiments veranschlagt worden waren. Interessierte hatten die Möglichkeit, unter einer Telefonnummer im Bezirksklinikum Regensburg weitere Fragen abzuklären und im Anschluss Termine zu vereinbaren. Diese Möglichkeit wurde binnen weniger Tage von mehr als 60 zur Teilnahme bereiten Personen wahrgenommen. Davon wurden 30 Personen nach a priori definierten Ein- und Ausschlusskriterien in die Studie aufgenommen: Die ProbandInnen mussten beim telefonischen Vorgespräch deutliche Beschwerden angeben, die für sie auch eine klare Beeinträchtigung ihres Alltagslebens darstellten. Diese Beschwerden sollten von ihnen auf spezifische Emittenten (z.B. Fernsehturm, Radiowecker, Fernseher im Schlafzimmer oder ähnliches) zurückgeführt werden. Ausschlusskriterium war, keine schwerwiegenden Beschwerden anzugeben, sondern sich nur als „sensorisch empfindlich“ im Bezug auf EMF einzustufen. Auch wurden solche Personen ausgeschlossen, die zwar Beschwerden äußerten, diese aber nicht primär mit „Elektrosensibilität“ für sich erklärten. Mehr als 20 Interessenten wurden aus genannten Gründen nicht für die Teilnahme an der Studie in Betracht gezogen. Bei den verbleibenden Personen traten entweder Terminprobleme auf oder es war die geplante Fallzahl von 30 Untersuchungspersonen schon erreicht.

Wie im Abschnitt 2 ausgeführt, war von Mai-Oktober 2001 an einer repräsentativen Stichprobe (n=758) der 18 bis 64 Jahre alten Bevölkerung Regensburgs eine Befragung durchgeführt worden, die unter anderem zum Ziel hatte, die 4-Wochen-Prävalenz von 36 Beschwerden zu erheben, die in der einschlägigen Literatur als eventuell im Zusammenhang stehend mit der Exposition an elektromagnetische Felder erwähnt waren (vgl. (Frick et al under review)). Diese Stichprobe war auch der Personenpool, dem die Mitglieder der zwei Populationskontrollgruppen entstammten. Auswahlkriterium für die Kontrollen waren Anzahl und Ausmaß der berichteten Symptome: Der Gruppe 2 (Beschwerdenfreie) wurden Personen zugeteilt, die angegeben hatten, im Monat vor dem Interview keines oder höchstens vier der Symptome in schwächster Form auf der abgefragten Liste gehabt zu haben. Mit diesem Wert gehörten sie zu den untersten zehn Prozent der Gesamtstichprobe. Die dritte Versuchspersonengruppe (Beschwerdenbelastete) bestand aus solchen Personen, die, was den Score der 36 Symptome angeht, zum obersten Dezil der Gesamtstichprobe gehörten. Bei den Gruppen 2 und 3 wurde keine Auswahl getroffen hinsichtlich der Ursachen und Wirkmechanismen, die die einzelnen Personen für ihre Symptome verantwortlich machten. Bei der Gruppe 3 ergab sich im Verlauf der Probandenakquirierung und Terminkoordination eine deutlich niedrigere Teilnahmebereitschaft als bei den Niedrigbelasteten. Ein Grund hierfür dürfte gewesen sein, dass dieser Personenkreis zum Teil unter schweren körperlichen Erkrankungen litt. Eine bestehende Erkrankung an sich stellte jedoch noch

kein Ausschlusskriterium für die Teilnahme an dem Wahrnehmungsexperiment dar. Auf Ausschlusskriterien für die Anwendung der transkraniellen Magnetstimulation wird unter Punkt 3.2.1.1 näher eingegangen. Diese Punkte wurden im Aufklärungs- und Anamnese-gespräch bei allen Probanden abgefragt. Im Falle eines Zutreffens (bei zwei Personen ge-schehen) wurde von der Durchführung des Experiments abgesehen.

Die Probanden aus Gruppe 2 und 3 erhielten jeweils 100 DM respektive 50 Euro als Auf-wandsentschädigung für ihre Teilnahme am Experiment. Die Feldphase II begann am 26.11.2001 und endete am 23.04.2002.

3.1.2 Deskriptive Daten der Versuchsgruppen

Insgesamt wurden 85 Personen im Rahmen der Untersuchung erfasst. Davon befanden sich 30 in Gruppe 1 (**„Elektrosensible“**), die sich aus 23 Frauen (77%) und 7 Männern zu-sammensetzte. Gruppe 2 (**Beschwerdenfreie**) bestand aus 28 Personen, davon 22 Män-ner und 6 Frauen (21%). Gruppe 3 (**Beschwerdenbelastete**) war aus bereits diskutierten Gründen mit 27 Personen die zahlenmäßig schwächste. Sie setzte sich aus 20 Frauen (73%) und 7 Männern zusammen. Bei der Geschlechtsverteilung weisen die drei Gruppen auch (neben dem Konsumverhalten bezüglich Alkohol, der seinerseits mit dem Geschlecht korreliert ist) den einzigen statistisch signifikanten Unterschied auf. Wie sich aus der Tabel-le 3.1 entnehmen lässt, ist der Frauenanteil in der Gruppe der Beschwerdenfreien signifi-kant niedriger als bei den anderen. Hinsichtlich erfasstem Alter, Bildungsgrad, Berufstätig-keit und Rauchverhalten unterscheiden sich die Gruppen nicht nachweislich.

Tabelle 3.1: Soziodemographische Merkmale und Substanzkonsum der Vergleichsgruppen

Gruppe	„E“ (N=30) ^{a)}		HB (N=27) ^{b)}		NB (N=28) ^{c)}		Unterschied be-deutend ?	
	M	SD	M	SD	M	SD	Prüfgröße	p-Wert
Alter	41.7	12.1	47.5	13.8	45.5	13.9	Kruskall-Wallis	0.210
Frauenanteil	77%		74%		21%		Chiquadrat	< 0.0001
Bildung	Hauptschule: 30% Mittl.Reife: 23% Abitur: 40%		Hauptschule: 30% Mittl.Reife: 30% Abitur: 33%		Hauptschule: 21% Mittl.Reife: 32% Abitur: 29%		Chiquadrat	0.567
Berufs-tätigkeit	Vollzeit: 47% nicht berufstätig: 40%		Vollzeit: 33% nicht berufstätig: 33%		Vollzeit: 57% nicht berufstätig: 21%		Chiquadrat	0.60
Alkohol-konsum	(fast) täglich: 13% seltener: 70% nie: 17%		(fast) täglich: 37% seltener: 42% nie: 22%		(fast) täglich: 43% seltener: 50% nie: 7%		Fisher's exact test	0.022
Rauchen	aktuell ja: 13% Ex-Raucher: 17% nie: 70%		aktuell ja: 19% Ex-Raucher: 31% nie: 50%		aktuell ja: 25% Ex-Raucher: 29% nie: 46%		Fisher's exact test	0.253

Anmerkungen: ^{a)} E="Elektrosensible, ^{b)} HB=Hohe Beschwerdenlast, ^{c)} NB=Niedrige Beschwerdenlast

Der subjektive Gesundheitszustand war in der Gruppe HB am schlechtesten. Elektrosensib-le und Niedrigbelastete berichteten einen deutlich besseren Gesundheitszustand, der auch zwischen den beiden Gruppen sehr ähnlich war. Hinsichtlich der Krankheitstage und der in stationärer Behandlung verbrachten Tage im Jahr vor der Untersuchung zeigten alle Grup-pen keine nachweislichen Unterschiede. Die durchschnittliche Zahl der berichteten Amal-

gamfüllungen war in allen drei Gruppen vergleichbar. Mitglieder der Gruppe NB hatten im Vorjahr einen Arzt nur durchschnittlich 2,3 mal aufgesucht. Hochbelastete dagegen 18,5 mal, und "Elektrosensible" 10,1mal. "Elektrosensible" waren dabei häufiger als die beiden Kontrollgruppen beim Heilpraktiker, bei einer umweltmedizinischen Beratung, oder bei einem Arzt für Naturheilkunde.

Tabelle 3.2 Gesundheitszustand und Inanspruchnahme gesundheitlicher Leistungen

Gruppe:	"Elektrosensible"			Hohe Beschwerdenlast			Niedrige Beschwerdenlast			Unterschied bedeutungsvoll?	
	N	Mittelwert	Std.Abw.	N	Mittelwert	Std.Abw.	N	Mittelwert	Std.Abw.	Prüfgröße	p-Wert
Body Mass Index	30	23.70	2.9	27	25.06	5.6	28	24.70	3.3	Kruskal-Wallis	0.5429
Subjektiver Gesundheitszustand (1 = ausgezeichnet 5 = schlecht)	30	2.80	0.8	27	3.52	0.8	28	2.60	0.8	Kruskal-Wallis	0.0004
Krankheitstage letztes Jahr	30	12.10	24.1	27	31.88	74.1	28	27.40	72.7	Kruskal-Wallis	0.2275
stationäre Behandlungstage letztes Jahr	30	1.97	4.5	27	2.42	6.3	28	0.57	2.2	Kruskal-Wallis	0.1612
Anzahl Arztbesuche letztes Jahr	30	10.10	9.6	27	18.55	18.1	28	2.30	20.5	Kruskal-Wallis	0.0005
Anzahl Amalgam-Plomben	30	2.83	3.0	25	1.80	2.1	28	3.07	3.5	Kruskal-Wallis	0.4646
Besuch von Ärzten / Gesundheitsinstitutionen im letzten Jahr?	Allgemeinmediziner		80%			74%			75%	Chiquadrat	0.8489
	Internist		23%			41%			14%	Chiquadrat	0.0753
	Augenarzt		43%			41%			36%	Chiquadrat	0.8355
	Orthopäde		37%			48%			11%	Chiquadrat	0.0091
	Psychiater		10%			37%			4%	Chiquadrat	0.0018
	Naturheilkunde		13%			7%			4%	Fisher's exact test	0.0546
	Dermatologe		33%			19%			14%	Chiquadrat	0.1970
	Zahnarzt		77%			82%			86%	Chiquadrat	0.6776
	Heilpraktiker		27%			4%			4%	Fisher's exact test	0.0015
	umweltmedizinische Beratung		13%			0%			4%	Fisher's exact test	0.0249
Subjektive Schlafqualität (PSQI Global Score)	n=30	6.17	3.9	n=27	7.59	2.9	n=27	4.04	2.1	Kruskal-Wallis	<0.0001
Multiple chemical sensitivity	gemäß Konsensus-Kriterien (1999)		27%			0%			4%	Fisher's exact test	0.0005
EMF-Beschwerdenscore (letzte 7 Tage)	n=30	11.57	7.6	n=27	16.74	6.4	n=28	4.04	4.9	F	<0.0001
Psychiatrische Komorbidität?											
WHO CIDI short form	Major Depression		10%			48%			0%	Chiquadrat	<0.0001
	Angststörung		0%			2%			0%	Fisher's exact test	0.0983
SOMS (Rief et al., 1997)	Somatoforme Störung (F45.0)		0%			4%			0%	Fisher's exact test	0.3176

Die subjektive Schlafqualität in der Gruppe HB und E war schlechter als in der Gruppe der Niedrigbelasteten. Auch das Ausmaß der in den letzten 7 Tagen vor der Untersuchung empfundenen Beschwerden (vgl. Abschnitt 2 zu deren Messung) lag in der Gruppe der Niedrigbelasteten bei durchschnittlich 4 sehr leichten Beschwerden, dagegen in der Gruppe der Elektrosensiblen bei 11,6 Punkten, bei den Hochbelasteten bei 16,7 Beschwerdepunkten. Gemäß den 1999 in Archives of Environmental Health publizierten Kriterien lagen bei 27% der "Elektrosensiblen", bei 0% der Hochbelasteten, und bei 4% (1 Person) der Niedrigbelasteten die Kriterien für eine "multiple chemical sensitivity" vor. Hinsichtlich psychiatrischer Komorbidität zeigte sich für die Gruppe der Hochbelasteten ein deutlich erhöhtes Risiko für eine majore Depression. Angststörungen und somatoforme Störungen konnten dagegen nicht in unterschiedlichem Ausmaß beobachtet werden; sie waren in allen drei Gruppen sehr selten.

3.2 Ablauf, verwendete Verfahren

Jede Versuchsperson wurde zum Termin ihrer Untersuchung von der psychologischen Versuchsleiterin in der Eingangshalle des Bezirksklinikums Regensburg abgeholt und ins TMS-Labor begleitet. Alle Versuchsteilnehmer führten vor dem Wahrnehmungsexperiment ein Aufklärungsgespräch mit dem durchführenden Arzt. Sie wurden einer kurzen Anamnese unterzogen, die psychiatrische und körperliche Vorerkrankungen, Allergien, die aktuelle Medikation und sämtliche Ausschlusskriterien für die Durchführung der transkraniellen Magnetstimulation beinhaltete. Die ProbandInnen erklärten schriftlich ihr Einverständnis mit der Untersuchung und bestätigten ihre Informiertheit über den Ablauf und eventuelle Risiken einer Applikation von magnetischen Impulsen.

3.2.1 Die Transkranielle Magnetstimulation ("Durch welche medizinischen Untersuchungen könnte ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen EMF und den angegebenen Beschwerden abgeklärt werden?")

Die Transkranielle Magnetstimulation (TMS) ist ein Verfahren zur schmerzfreien und nichtinvasiven Reizung von kortikalen Strukturen - insbesondere des Motorkortex – beim wachen Patienten. Diese Methode ist 1985 eingeführt worden und wurde zunächst dazu verwendet, die Integrität des kortikospinalen Traktes zu messen (Barker et al 1987).

3.2.1.1 Prinzip und Methode

Das physikalische Prinzip der TMS besteht darin, dass von außen ein starkes Magnetfeld an den Kopf angelegt wird. Dieses entsteht durch die Entladung eines Kondensators in einer Spule, die einen Stromfluss von bis zu 15.000 Ampere hervorruft. Um den Spulendraht herum bildet sich in einem Zeitraum von 200 bis 600 μ sec ein Magnetfeld, das genauso schnell wieder abnimmt (Haag et al 1997). Die Stärke dieses Magnetfeldes, das ungehindert Skalp, Schädelkalotte und Liquorraum durchdringt, um dann in tiefergelegenen Hirnstrukturen einen Stromfluss zu verursachen, hängt von der Form der verwendeten Spule ab. Gebräuchlich sind vor allem zwei Spulentypen, eine runde Spule, um die ein torusförmiges Magnetfeld entsteht, und eine Ziffer-8-förmige Spule, um die sich ein Magnetfeld mit maximaler Feldstärke über dem Mittelpunkt der Spule aufbaut. Diese Form findet auch im vorliegenden Experiment Verwendung. Das rasch stärker und schwächer werdende Magnetfeld bewirkt im Zielgewebe nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion parallel zur Spulenebene einen Stromfluss, welcher der Flussrichtung in der Spule entgegen-

gesetzt ist. Durch diesen Stromfluss werden Neuronen depolarisiert und es kommt bei ausreichender Stimulation der kortikalen Neuronen zu einer motorischen Antwort im Muskel, die via EMG-Gerät aufgezeichnet werden kann. Dieses Prinzip wurde ursprünglich als Diagnostikum bezüglich der Integrität der motorischen Bahnen verwendet.

3.2.1.2 Die TMS als Therapeutikum in der Psychiatrie

Seit Mitte der 90er Jahre ist als neues Anwendungsgebiet die Messung verschiedener Aspekte der kortikalen und kortikospinalen Erregbarkeit hinzugekommen. Auch gab es in den letzten knapp 20 Jahren viele Studien, deren Ziel es war zu überprüfen, ob die TMS in Form der repetitiven² TMS als Therapie für verschiedene therapieresistente psychiatrische Erkrankungen eine effektive Alternative oder Ergänzung zu konventionellen Methoden wie der medikamentösen Behandlung oder der Elektrokrampftherapie (EKT) darstellen könnte. Der Großteil der wissenschaftlichen Bemühungen liegt auf dem Gebiet der Depressionen, neuere Bemühungen richten sich auch auf Erkrankungen wie Parkinson, Schizophrenie, Epilepsie oder Angst- und Zwangsstörungen (Wassermann 1998). Die erste Studie, die Therapieerfolge bei zwei behandelten Patienten mit therapieresistenten Depressionen berichtete, wurde 1993 von Höflich und Kollegen veröffentlicht (Höflich et al 1993).

Burt und Mitarbeiter haben jüngst Therapiestudien der letzten Jahre zusammenfassend betrachtet, was Effektgröße und Ausmaß des therapeutischen Effekts von rTMS bei der Major-Depression betrifft (Burt et al 2002). Bei der Untersuchung neun unkontrollierter Studien ergab sich ein statistisch signifikanter Effekt der neuen Therapiemethode, was z.T. jedoch auch auf einen Placeboeffekt zurückzuführen sein könnte. Aber auch die Betrachtung von 23 Sham-kontrollierten³ Studien ergab, dass sowohl langsame als auch schnelle rTMS einen unmittelbaren antidepressiven Effekt auf depressive Symptome hat und zwar in bedeutend größerem Ausmaß als bei der Verwendung von Sham-Spulen.

3.2.1.3 Sicherheitsrichtlinien, Nebenwirkungen

Die Sicherheit der Anwendung von TMS konnte in zahlreichen Studien gezeigt werden ((Chen et al 1997); (Wassermann et al 1996); (Zyss and Witkowska 1996)). Die TMS verursachte keine klinisch signifikanten Veränderungen in Bezug auf Hören, kognitive Leistungen, EEG, EKG und den Hormonspiegel (Speer et al 2001). Auch gab es keine histopathologischen Befunde bei Menschen (Gates et al 1992) und keine Auswirkungen auf die Blut-Hirn-Schranke bei Ratten (Ravnborg et al 1990).

Das größte Risiko bei der Anwendung von TMS ist das eines Krampfanfalles, von denen es laut publizierten Berichten bis 1996 sieben gab, seither aber keine mehr. Diese Tatsache dürfte auch auf die Einführung von Sicherheitsrichtlinien zum Gebrauch der TMS zurückzuführen sein (Wassermann 1998). Diesen Richtlinien zufolge sind für die Anwendung der rTMS Metallimplantate im Schädelbereich (außer im Mund) kontraindiziert. Auch sollten Personen mit Herzschrittmachern, Pumpensystemen oder schweren Herzleiden ebenfalls nicht an solchen Studien teilnehmen. Bei Kindern oder schwangeren Frauen ist von einer rTMS-Behandlung abzusehen, außer der erhoffte Nutzen ist signifikant größer als das erwartete Risiko (Wassermann 1998).

² Von rTMS sollte nur gesprochen werden, wenn mit einer Frequenz über 1 Hz, mehr als zwei aufeinanderfolgenden Reizen und konstantem ISI stimuliert wird (NINDS, Washington, 1996)

³ „sham“ = Schein. Es wird also verfahren wie bei Medikationsstudien mit Placebo als Kontrollmedikation.

Als Nebenwirkungen von TMS können ein unangenehmes Gefühl auf der Kopfhaut oder Spannungskopfschmerzen auftreten, die aber gut mit Analgetika behandelbar sind (Triggs et al 1999); (Wassermann 1998)). Auch gibt es Berichte von Tinnitus (Cohen et al 1999). Manische Symptome wurden bei der Anwendung von rTMS über dem linken dorsolateralen präfrontalen Kortex beobachtet (Dolberg et al 2001) (Garcia-Toro 1999).

Die erwähnten Nebenwirkungen sind bisher nur bei der rTMS beobachtet worden, nicht bei der Verwendung von singulären Impulsen, wie es im vorliegenden Experiment der Fall war. Hier beschränkten sich negative Nebeneffekte bisher auf seltene Fälle von Kopfschmerzen, die gut mit Aspirin und ähnlichen Mitteln behandelbar sind.

3.2.2. Interview

Die Gruppe der subjektiv elektrosensiblen Versuchspersonen wurde am Tag des Wahrnehmungsexperiments mit demselben Interview befragt, dem sich die Mitglieder der zwei Kontrollgruppen bereits im Vorfeld bei der Regensburger Repräsentativ-Erhebung unterzogen hatten (vgl. (Frick et al under review)). Zunächst wurden die jeweiligen soziodemographischen Daten erhoben wie Alter, Geschlecht, Schulbildung, Berufstätigkeit, sowie auf die Gesundheit bezogene Verhaltensweisen (z.B. Besuch von Ärzten, Rauchgewohnheiten, Trinkverhalten). Weitere Bestandteile des Interviews waren der Pittsburgh Sleep Quality Index (Buysse et al 1989), sowie zwei standardisierte psychiatrische Screening-Instrumente: es wurde von den geschulten Interviewern anhand des Composite International Diagnostic Interviews (short form) der Weltgesundheitsorganisation (Nelson et al 2001) das Vorliegen einer Major Depression (gemäß DSM IV) oder einer generalisierten Angststörung überprüft. Ob eine somatoforme Störung vorlag, erhoben die Interviewer mit einer auf die ICD-10-Kriterien eingeschränkten Version des SOMS (Rief et al 1997). Bei den Personen aus den Kontrollgruppen wurde zum Wahrnehmungsexperiment nicht mehr das gesamte Interview abgefragt, sondern lediglich das EMF-Beschwerdenprofil über die vergangenen 7 Tage vor der aktuellen Untersuchung erhoben.

3.2.3. Messung der subjektiven Kontrollüberzeugungen zu Gesundheit und Krankheit

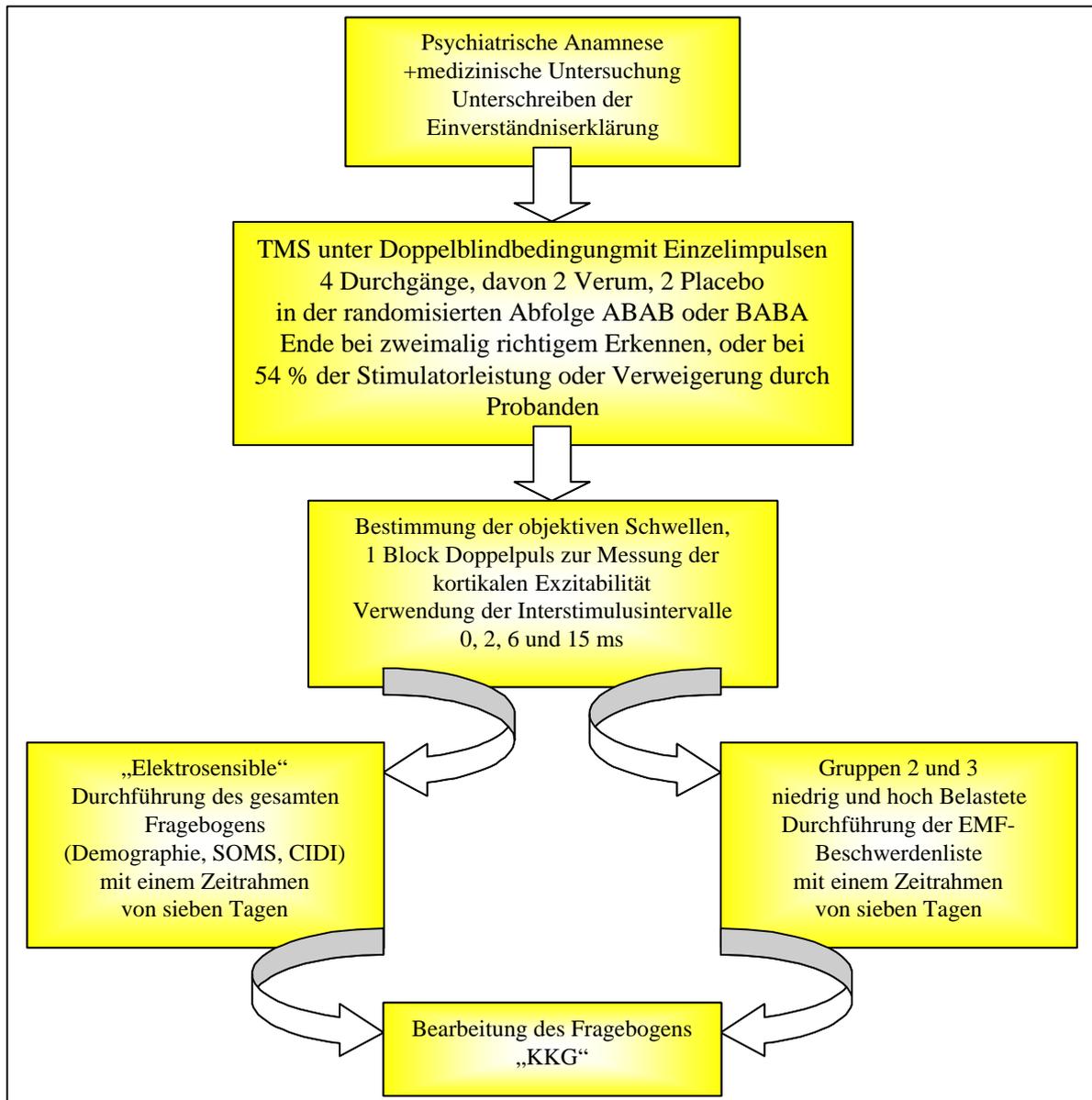
Zum Abschluss der Untersuchung wurde den Probanden der KKG-Fragebogen von Lohaus und Schmitt (Lohaus and Schmitt 1989) zu subjektiven Kontrollüberzeugungen zu Gesundheit und Krankheit zur Bearbeitung vorgelegt. Der KKG basiert auf dem dreidimensionalen Kontrollüberzeugungskonzept von Levenson (Levenson 1973). Dieses unterscheidet neben der Internalität zwei externale Kontrollüberzeugungen: die fatalistische Externalität, bei der die Erwartung besteht, dass Ereignisse vom Schicksal oder von Zufällen abhängen (chance locus of control) und die soziale Externalität, bei der angenommen wird, dass der Eintritt von Ereignissen durch andere Personen bestimmt wird, die mehr Einfluss besitzen und als mächtiger wahrgenommen werden als man selbst (powerful others locus of control). Der KKG besteht aus 21 Statements, zu denen die Probanden mittels einer sechsstufigen Skala den Grad ihrer Zustimmung angeben sollen. Aus diesen Bewertungen wird für die drei Kontrollüberzeugungen je ein Summenscore gebildet.

- ◆ Ein hoher Internalitätswert bedeutet, dass jemand glaubt, Ereignisse bezüglich Gesundheit und Krankheit selbst kontrollieren zu können.
- ◆ Ein hoher Wert bei der Kontrollüberzeugung soziale Externalität besagt, dass der Proband glaubt, der eigene Gesundheitszustand sei hauptsächlich durch das Handeln anderer bestimmt, womit normalerweise Personen gemeint sind, die im Gesundheitswesen arbeiten (Ärzte, Schwestern, ...).

- ◆ Ein hoher Wert bei der fatalistischen Externalität besagt wiederum, dass eine Person glaubt, ihre Gesundheit hänge hauptsächlich von Zufällen, vom Glück oder vom Schicksal ab.

Die Probanden konnten zu jeder Zeit bei Verständnis- oder formalen Problemen den jeweiligen Interviewer zu Rate ziehen. Zur Veranschaulichung des Gesamtablaufs dient Abbildung 1, auf der die verschiedenen Stationen, die der einzelne Proband zu durchlaufen hatte, in einem Flussdiagramm dargestellt sind.

Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Ablaufs



3.3 Versuchsaufbau

Nachdem die Eignung der Versuchspersonen zur Teilnahme an der Untersuchung geklärt worden war und diese eine schriftliche Einverständniserklärung abgegeben hatten, begann das Wahrnehmungsexperiment. Teil der Aufklärung war auch die Information, dass die

Studie von der Ethikkommission der Universität Regensburg positiv beurteilt worden war. Jeder Proband erhielt eine weiße Bademütze, auf der ein standardisierter Auflagepunkt über dem präfrontalen Cortex für die Magnetspule aufgezeichnet wurde. Es wurden ein Magnet-Stimulator (Magstim Super Rapid) der Firma Micromed und eine Sham-Spule (2 x 70mm Placebo-Spule mit Dummy-Anschluss-Box für Doppelblindstimulation) sowie eine Verum-Spule desselben Herstellers verwendet. Zudem wurden am kleinen Finger der rechten Hand (Musculus abductor digiti minimi) am Muskelbauch und an der Sehne (als Referenzpunkt) zwei Elektroden angelegt, um im zweiten Teil des Wahrnehmungsexperiments die Muskelaktivität via EMG-Gerät (Firma Nicolet) ableiten zu können (siehe hierzu auch Abbildung 3.2)

Abbildung 3.2:

Versuchsaufbau



3.3.1 Messung der subjektiven Wahrnehmungsschwelle

Normalerweise wird der Auflagepunkt für die Magnetspule ermittelt, indem der durchführende Arzt das Schädelareal der linken Hemisphäre mit der Spule solange absucht, bis er die größtmögliche Muskelreaktion in der kontralateralen Hand auslöst. Dies war hier aus experimenteltechnischen Gründen nicht möglich, da sonst die Verblindung der Probanden hinsichtlich des Wissens darum, wie sich eine Stimulation anfühlt, aufgehoben worden wäre. Diese Verblindung war für die Durchführung des Wahrnehmungsexperiments zwingend notwendig. Daher wurde der Auflagepunkt für die Stimulationsspule alternativ anhand eines an vielen psychiatrischen Patienten erprobten Algorithmus ermittelt. Zunächst wurde der Schnittpunkt zwischen Sagittalebene und Aurikularebene auf der Bademütze aufgezeichnet. Von diesem Punkt aus ging man vier Zentimeter anterior und zeichnete von da eine Gerade im 45°-Winkel als Hilfslinie. Deren Schnittpunkt mit der Auricularebene der linken Hemisphäre liegt über dem Handareal des Motorkortex. Hier wurde zur Durchführung des Wahrnehmungsexperiments die Spule aufgelegt.

Die Bestimmung der subjektiven Wahrnehmungsschwelle für die Magnetimpulse war bei jedem Probanden der Bestimmung der objektiven Schwellen vorgeschaltet. Die maximale Leistungsfähigkeit des Stimulationsgerätes lag bei 1,8 Tesla. Jeder der vier Durchgänge wurde mit 0 % der maximalen Leistungsfähigkeit begonnen und höchstens 19 mal mit einer Steigerung in Schritten von 3% zusätzlicher Magnetfeldstärke wiederholt. Dabei waren alle Einzelimpulse für die Probanden durch ein Klicken der Apparatur erkenntlich. Nach jedem Klicken wurden sie befragt, ob sie den potentiellen Impuls wahrgenommen hätten oder nicht. Wurde diese Frage zweimal hintereinander mit "ja" beantwortet, so galt das Erreichen der subjektiven Wahrnehmungsschwelle als gegeben und der nächste Durchgang wurde gestartet. Als Schwelle wurde hierbei die erste, niedrigere Prozentzahl gewertet. Mehrere Versuchspersonen verspürten bis zum letzten Impuls (54 % der maximalen Stimulatorleistung) nichts, was sie zu einer positiven Antwort veranlasst hätte. Für diese Fälle wurde das Datum von 57 % als sogenannte "zensierte Schwelle" festgehalten. Der zur Durchführung des Experiments verwendete Spulensatz von einer Verum- und einer Sham-Spule war optisch identisch und wurde nach jedem vollständigen Durchgang hinter dem Rücken der Versuchsperson ausgetauscht. Die standardisierte Reihenfolge der verwendeten Spulen war entweder "Sham-Verum-Sham-Verum" oder "Verum-Sham-Verum-Sham", wobei die Zuordnung der Probanden zu diesen zwei Bedingungen zufällig erfolgte. Der Spulentausch und die stufenweise Betätigung des Gerätes wurden von einer dritten Person übernommen, so dass sowohl der ärztliche Versuchsleiter als auch die Probanden bezüglich der Versuchsbedingungen blind waren. Auch hatten die Versuchspersonen keine Informationen dahingehend erhalten, dass die Impulsstärke seriell ansteigend war. Sie wussten aber, dass in jedem Durchgang eine 50-prozentige Chance bestand, einem echten oder keinem Impuls ausgesetzt zu werden, obwohl das Klicken des Gerätes bei jedem Einzelimpuls erfolgte.

Eine Versuchsperson hat wegen Schmerzen (Brennen der Haut) nach der ersten Phase das Experiment vor der Messung der kortikalen Exzitabilität abgebrochen. Eine weitere Vp war bereits nach den ersten Impulsen bei der Bestimmung der subjektiven Wahrnehmungsschwelle nicht mehr zur Mitarbeit bereit. Eine weiterführende Nachbehandlung der Symptome war nicht medizinisch vonnöten. Vor der anschließend durchgeführten Doppelpulsuntersuchung wurde zur Erhebung der objektiven Schwellen nach der üblichen Vorgehensweise derjenige Punkt auf der Schädeloberfläche gesucht, der die optimalste Muskelreaktion ergab (siehe oben).

3.3.2 Messung der objektiven motorischen Schwellen und Doppelpuls

Die zweite Phase der Untersuchung setzte sich zusammen aus der Ermittlung der objektiven Schwellen sowie der Durchführung eines einzelnen Doppelpuls-Blocks (Erklärung siehe unten).

Die motorische Schwelle wird in der Regel als die kleinstmögliche Reizstärke definiert, die bei entspanntem Muskel (deshalb **Ruheschwelle**) ausreicht, um bei vier von acht Reizungen ein kleines motorisches Aktionspotenzial von 50 μ V oder mehr zu evozieren (Ziemann 2001). Der zweite zu erhebende Wert war die **aktive motorische Schwelle**. Diese wird bei vorgespanntem Muskel erhoben (der kleine Finger wurde gegen das Pflaster gespreizt, mit dem die Elektrode befestigt war) und dient dazu, das motorisch evozierte Potenzial besser von der willkürmotorischen EMG-Aktivität unterscheiden zu können. Sie entspricht der kleinstmöglichen Reizintensität, die hinreichend für die Auslösung eines kleinen motorischen Aktionspotenzials von 100 μ V oder mehr ist. Man bestimmt sie durch Mitteln über fünf bis zehn Durchgänge. Die aktive motorische Schwelle liegt in der Regel um ca. 5-20 Prozent Stimulatorleistung niedriger als die Ruheschwelle. Zwischen gesunden Individuen bestehen große Unterschiede in ihren objektiv bestimmten Schwellen, die Test-Retest-Reliabilität beim Einzelnen aber ist hoch (Cicinelli et al 1997).

Der Erhebung der objektiven Schwellen folgte ein Block Doppelpuls-Messungen. Das Prinzip des Doppelpulsverfahrens ist folgendes: Es werden kurz (im Millisekundenbereich) nacheinander zwei Reize über die Magnetspule abgegeben (abgekürzt: S1 und S2), wobei der erste Reiz (S1), der 10% unterhalb der ermittelten Ruheschwelle liegt, als konditionierender Reiz auf den zweiten, überschwelligem Reiz ((S2, der im Vorversuch ein motorisch evoziertes Potenzial von etwa 1mV ausgelöst hat) wirkt. Dabei werden systematisch die Interstimulusintervalle, also die zeitlichen Abstände zwischen den Reizen verändert (Ziemann, 2001). Bei der klinischen Anwendung dieses Verfahrens wurde festgestellt, dass S1 bei einem kurzen Zeitintervall zwischen den Reizen (1-5 ms) zu einer Hemmung/Inhibition des durch S2 am Muskel evozierten Potentials führt und bei längeren Intervallen (7-20 ms) zu einer Steigerung/Fazilitierung ((Kujirai et al 1993); (Ziemann et al 1996)). Wasserman et al. haben in einer Studie an 46 gesunden Personen festgestellt, dass die kortikale Exzitabilität (genauer: verminderte intrakortikale Inhibition) mit der Skala Neurotizismus des NEO-PI-R Persönlichkeitsinventars korreliert (Wassermann et al 2001). Dieser Zusammenhang war nur für den männlichen Teil der Versuchspersonen signifikant, was aber bei den Frauen darauf zurückzuführen sein könnte, dass ein hormoneller Einfluss als konfundierende Variable auf die kortikale Exzitabilität einwirkt. Ziemann und Kollegen entdeckten bereits vier Jahre zuvor einen Zusammenhang zwischen verminderter Inhibition und dem Tourette-Syndrom (Ziemann et al 1997).

Inhibition und Fazilitierung werden dadurch ermittelt, dass man die konditionierten evozierten Potentiale mit solchen vergleicht, die durch einen einzelnen überschwelligem Reiz ausgelöst wurden (rechnerisch: abhängige Variable = Neureiz / Schwellenreiz). In der vorliegenden Untersuchung wurden Interstimulusintervalle von 0, 2, 6 und 15 ms in randomisierter Abfolge verwendet. Die Ableitung der entsprechenden evozierten motorischen Potentiale wurde mit dem Computer aufgezeichnet und mit dem Programm *Vision Analyzer* der Firma *Brain Vision* ausgewertet, indem man die Amplituden der konditionierten evozierten Potentiale (2, 6 und 15 ms Zeitintervall zwischen zwei Reizen) mit der Amplitude des Potentials verglich, das durch den Eichreiz (ein einzelner, überschwelliger Reiz, 0ms) ausgelöst worden war.

3.4 Statistische Auswertung

Bei der Bestimmung der subjektiven Wahrnehmungsschwellen durchlief jeder Proband 4 Durchgänge in der standardisierten Spulenfolge „Sham-Verum-Sham-Verum“ oder „Verum-Sham-Verum-Sham“. Diesen zwei Bedingungen wurden die Versuchspersonen randomisiert zugeteilt. Hauptzielkriterium der Studie bildet die Diskriminationsfähigkeit der Probanden, also ihre Fähigkeit, zwischen einem tatsächlichen Magnetimpuls und einer Stimulation mit der Sham-Spule unterscheiden zu können. Ein Maß für die Diskriminationsfähigkeit der Probanden stellen die Differenzwerte zwischen Sham- und Verumsbedingung dar. Diese erhält man, indem man in den Durchgängen 1+2 bzw. 3+4 vom Schwellenwert der jeweiligen Sham-Stimulation den bei Magnetbedingung beobachteten Schwellenwert abzieht. Da bei allen Personen, die am Ende der 19 Versuche noch keine eindeutige Schwelle erreicht hatten, ein Wert von 57 % registriert wurde, liegt der größtmögliche Abstand zwischen den beiden Bedingungen bei 57 Punkten, was keiner Wahrnehmung bei Sham-Bedingung und sofortiger Impulswahrnehmung bei vorliegender Magnetbedingung entspräche. Negative Abstände (frühe Sham-Wahrnehmung und sehr späte Magnetwahrnehmung) können hierbei sinnvoll als schlechte Diskriminationsfähigkeit gewertet werden. Die Tatsache, dass bei fehlender Wahrnehmung bis zum 19. Versuch zensierte Messwerte möglich sind, arbeitet statistisch gegen möglicherweise vorhandene Gruppenunterschiede, weil der errechnete Abstand zwischen den beiden Schwellen dann nur eine untere Grenze für die Differenzierungsleistung darstellt. Kann in einer varianzanalytischen Auswertung bzgl. der Diskrimina-

tionsfähigkeit dennoch ein Unterschied zwischen den Gruppen nachgewiesen werden, so muss man die Zensierungen nicht weiter berücksichtigen.

A priori wurde als Methode zur Auswertung eine Varianzanalyse mit einem Messwiederholungsfaktor (Abstand bei 1./2. Durchgang versus Abstand bei 3./4. Durchgang), einem quasiexperimentellen Gruppenfaktor mit drei Stufen („Elektrosensible“ Personen, Personen mit hoher Beschwerdenlast, Personen mit geringer Beschwerdenlast), einem experimentell manipuliertem Gruppenfaktor (Reihenfolge ABAB versus BABA) und zwei Kovariaten (aktive motorische Schwelle, Ruheschwelle) bestimmt. Die mangelnde Gleichverteilung der Geschlechter auf die verschiedenen Versuchsgruppen (relativ viele Frauen bei den „Elektrosensiblen“, relativ wenig Frauen bei den Niedrigbelasteten) war nach der Durchführung der Untersuchung der Anlass, die Daten auch auf mögliche Konfundierungen der Versuchsergebnisse durch potentiell geschlechtsspezifische Wahrnehmungsleistungen zu untersuchen. Geschlecht wurde als weitere Kovariante in das Design aufgenommen. Die statistischen Berechnungen erfolgten mit dem Programmpaket SAS (PRCO GLM).

Zur veranschaulichenden Beschreibung der Daten wurde der Endpunkt jedes Durchgangs, also das Erreichen der Wahrnehmungsschwelle zusätzlich in sogenannten Überlebenskurven (Kalbfleisch and Prentice 1980) als Funktion der (tatsächlich oder vorgeblich) erreichten Impulsstärke dargestellt. Da potentielle Zensierungen („keine Schwelle erreicht“) aber nur am Ende des Versuchs (bei 54 % Impulsstärke) auftreten können (wenn keine Person den Versuch abbricht), war es nicht vonnöten, zur statistischen Testung möglicher Gruppenunterschiede auf entsprechende zur Verfügung stehende Modelle (Cox-Regression, Logrank-Test etc.) zurückzugreifen (vgl. oben). Als Nebenzielkriterien wurden mögliche Unterschiede der drei Beschwerdengruppen bezüglich Internalität, sozialer Externalität und fatalistischer Externalität, den Krankheitskonzepten, die durch den KKG von Lohaus und Schmitt (Lohaus and Schmitt 1989) ermittelt werden, festgelegt. Zudem wurden Zahl und Intensität der geäußerten EMF-bezogenen Beschwerden (Frick et al under review) der drei Gruppen im Vergleich untersucht.

Die Testung des möglichen Gruppenunterschiedes bei der Auswertung des Hauptzielkriteriums wird als konfirmatorischer Test interpretiert. Die übrigen Tests der Varianzanalyse dienen lediglich der Adjustierung von möglichen konfundierenden Variablen wie des Versuchsaufbaus oder der unterschiedlichen biologisch-physiologischen Zusammensetzung der Versuchsgruppen. Sie werden als exploratorische Analysen ebenso wie die statistischen Tests der Nebenzielkriterien ohne gesonderte Adjustierung des Alpha-Risikos berichtet.

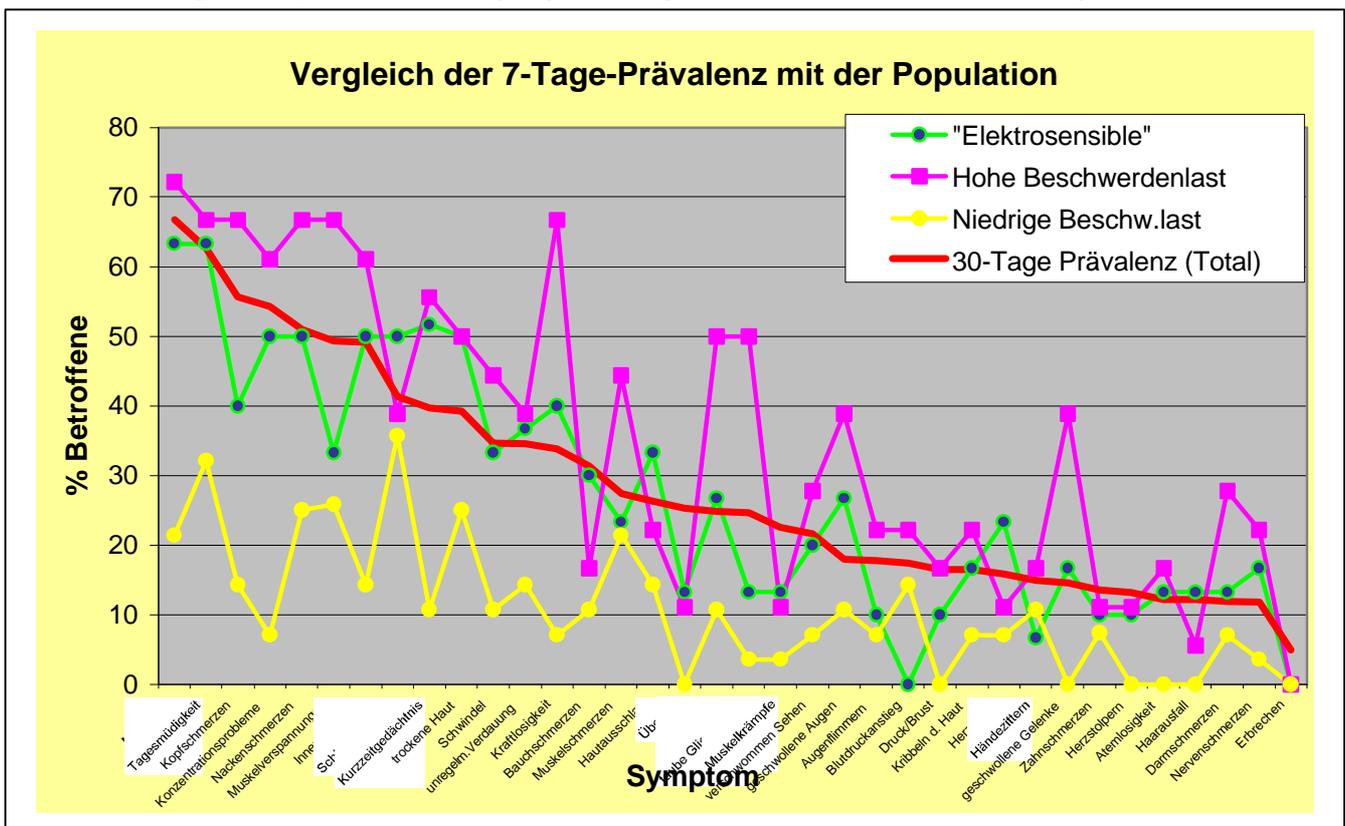
3.5 Ergebnisse

Betrachtet man die drei Versuchsgruppen hinsichtlich der erhobenen 7-Tage-Prävalenz von EMF-relevanten Beschwerden, so ergibt sich folgendes Gesamtbild: Die Gruppe der Niedrigbelasteten weist im Vergleich die niedrigste Symptomrate auf.

Die „Elektrosensiblen“ bewegen sich bzgl. ihrer Beschwerden im Mittel über den Niedrigbelasteten, bleiben aber durchschnittlich fünf Punkte unter den Symptomwerten, die die Gruppe der Hochbelasteten angegeben hatte. Das entspricht durchschnittlich fünf leichten oder zwei bis drei schwereren Symptomen weniger. Dies trifft gleichermaßen auf die 36 erhobenen Symptome zu und ist auch der Abbildung 3.3 zu entnehmen, wo die dichotomisierten Einzelprävalenzen dargestellt sind. Eine gehäufte Nennung einer bestimmten Symptomgruppe wie sie Hillert et al. (1999) berichteten, trat nicht auf. Das Antwortverhalten steht im Einklang mit den Ergebnissen aus der repräsentativen Stichprobe der Regensburger Wohnbevölkerung, für die ein homogener, kontinuierlich verteilter „latent trait“ als Messvariable für die genannten Symptome aufgefunden wurde (vgl. oben, Abschnitt 2).

Ihren subjektiven Gesundheitszustand bewerten die „Elektrosensiblen“ in der entsprechenden Interviewfrage (5 Abstufungen) ähnlich wie die Gruppe mit der niedrigen Beschwerdenlast. Bei erstgenannten liegt das Gruppenmittel bei 2.8 Punkten auf einer Skala von eins (ausgezeichnet) bis fünf (schlecht), bei letzteren liegt der Mittelwert bei 2.6 Punkten. Personen mit hoher Beschwerdenlast heben sich hiervon mit einem Wert von durchschnittlich 3.5 Punkten deutlich ab ($p=0.0004$; siehe Tabelle 3.3). Die Gruppen unterscheiden sich weder in bedeutsamem Maße voneinander, was Krankheitstage betrifft – also Tage, an denen sie ihrer üblichen Beschäftigung aus gesundheitlichen Gründen nicht nachgehen konnten; noch wurde ein Unterschied im Hinblick auf Hospitalisierungstage während des vergangenen Jahres deutlich.

Abbildung 3.3: Symptomausprägung in 7-Tage Prävalenz bei den Versuchsgruppen



Was die Zahl und Art der Inanspruchnahme gesundheitsbezogener Leistungen angeht, waren deutliche Gruppenunterschiede erkennbar: Personen mit hoher Beschwerdenlast hatten durchschnittlich im vorangegangenen Jahr 19mal den Arzt konsultiert, „Elektrosensible“ gaben nur durchschnittlich 10 Arztbesuche an. Die Niedrigbelasteten waren im Mittel nur zweimal im Jahresverlauf beim Arzt gewesen ($p=0.0005$).

Tabelle 3.3: Gesundheit und Inanspruchnahme gesundheitsbezogener Leistungen

Gruppe	"E" ^{a)}			HB ^{b)}			NB ^{c)}			Unterschied bedeutungsvoll?	
	N	M	SD	N	M	SD	N	M	SD	Prüfgröße	p-Wert
Body Mass Index	30	23,7	2,9	27	25,1	5,7	28	24,7	3,3	Kruskall-Wallis	0,5429
Subjektiver Gesundheitszustand (1-5)	30	2,8	0,8	27	3,5	0,9	28	2,6	0,8	Kruskall-Wallis	0,0004
Krankheitstage letztes Jahr	30	12,1	24,1	27	31,9	75,7	28	27,4	72,7	Kruskall-Wallis	0,1766
stationäre Behandlungstage im letzten Jahr	30	1,97	4,5	25	2,42	6,3	28	0,57	2,2	Kruskall-Wallis	0,18
Anzahl Arztbesuche im letzten Jahr	30	10,1	9,6	26	18,9	18,1	28	2,3	20,5	Kruskall-Wallis	0,0005
PSQI	30	6,17	3,9	26	7,59	2,9	27	4,04	2,1	Kruskall-Wallis	< 0,0001

Anmerkungen: ^{a)} E="Elektrosensible, ^{b)} HB=Hohe Beschwerdenlast, ^{c)} NB=Niedrige Beschwerdenlast

Tabelle 3.4: Gesundheit und Inanspruchnahme gesundheitsbezogener Leistungen

Besuch von Ärzten / Gesundheitsinstitutionen im Vorjahr?	Gruppe	„E“ ^{a)}	HB ^{b)}	NB ^{c)}	Prüfgröße	p-Wert
		Allgemeinmediziner	80%	74%	75%	Chiquadrat
	Internist	23%	41%	14%	Chiquadrat	0,1182
	Augenarzt	43%	41%	36%	Chiquadrat	0,8339
	Orthopäde	37%	48%	11%	Chiquadrat	0,0068
	Psychiater	10%	37%	4%	Chiquadrat	0,0013
	Naturheilkunde	13%	7%	4%	Fisher's exact test	0,0551
	Dermatologe	33%	19%	14%	Chiquadrat	0,1970
	Zahnarzt	77%	81%	86%	Chiquadrat	0,6806
	Heilpraktiker	27%	4%	4%	Fisher's exact test	0,0015
	umweltmed. Beratung	13%	0%	4%	Fisher's exact test	0,0249
	HNO	27%	30%	18%	Fisher's exact test	0,5712

WHO CIDI Short f.	Major depression	10%	48%	0%	Fisher's exact test	<0,0001
	Angststörung	0%	2%	0%	Fisher's exact test	0,0983
SOMS	Somatoforme Strg	0%	4%	0%	Fisher's exact test	0,3176

Anmerkungen: ^{a)} E="Elektrosensible, ^{b)} HB=Hohe Beschwerdenlast, ^{c)} NB=Niedrige Beschwerdenlast

Über die Untersuchungsgruppen hinweg wurden Allgemeinarzt, Internist, Augenarzt, Hautarzt und Zahnarzt im vorangegangenen Jahr ähnlich häufig frequentiert. Die Gruppe der

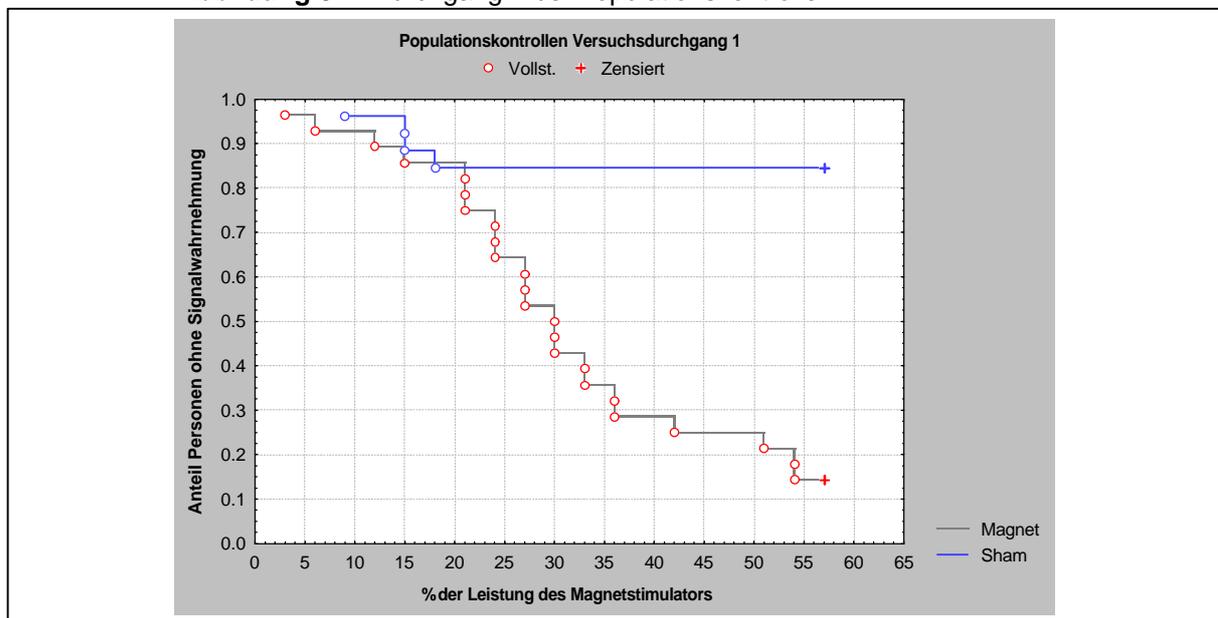
Niedrigbelasteten besuchte deutlich seltener einen Orthopäden (11 %) als die beiden anderen Gruppen mit höherer Beschwerdenlast (37 bzw. 50 %). Bei einem Psychiater waren 38 % der Personen mit hoher Beschwerdenlast, 10 % der „Elektrosensiblen“ und nur vier Prozent der niedrig Belasteten ($p=0.0013$) gewesen. Auch ergab sich die Tendenz der „Elektrosensiblen“, häufiger einen Arzt für Naturheilkunde aufzusuchen ($p=0.0551$). Mehr als ein Viertel der „Elektrosensiblen“ war überhaupt einmal oder häufiger beim Heilpraktiker gewesen, was nur bei je vier Prozent der beiden Vergleichsgruppen zutreffend war ($p_{\text{exact}}=0.0018$). Auch wurde eine „umweltmedizinische Beratung“ unterschiedlich häufig in Anspruch genommen, wobei diese Leistung im Interview nicht näher spezifiziert wurde. Die diesbezügliche Frage beantworteten 13 % der Elektrosensiblen positiv, hingegen kaum jemand aus den Vergleichsgruppen (0 bzw. 4 %) ($p_{\text{exact}}=0.0249$).

Beim PSQI (subjektive Schlafqualität) zeigten die Niedrigbelasteten das geringste Ausmaß an Schlafstörungen (PSQI=4.0, $p<0.0001$) und die „Elektrosensiblen“ lagen mit einem Wert von 6.2 noch unter den Hochbelasteten, die einen PSQI von 7.6 erreichten.

3.5.1 Bestimmung der subjektiven Wahrnehmungsschwellen

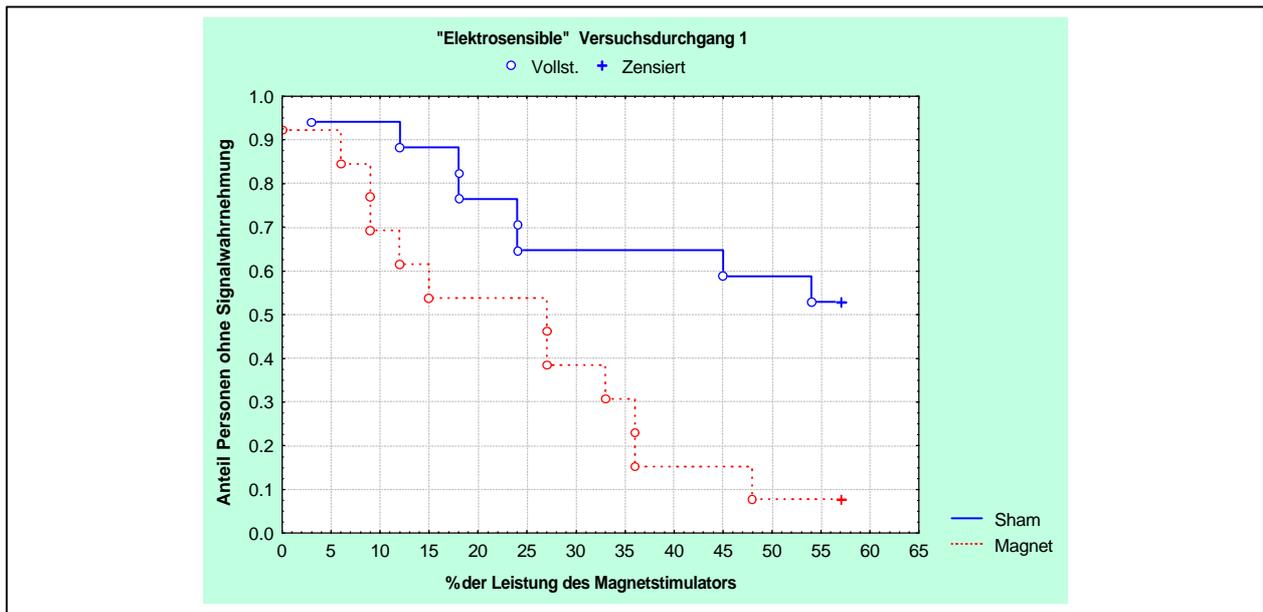
Die Ergebnisse der vier Durchgänge zur Erhebung der subjektiven Wahrnehmungsschwellen sind getrennt dargestellt. Da die beiden Populationskontrollgruppen sich äußerst ähnlich verhielten, sind sie hier gemeinsam visualisiert worden. Die Wahrnehmungsschwelle wird fast von allen Probanden über alle Gruppen unter Verumsbedingung vor der festgelegten Maximalleistung von 54% erreicht (rote, gestrichelte Survivalkurve). Bei der Sham-Bedingung verneinen bis zum 19. Impuls mehr als 80% der Kontrollgruppen kontinuierlich die Frage, ob sie einen Magnetimpuls verspürt hätten.

Abbildung 3.4: Durchgang 1 bei Populationskontrollen



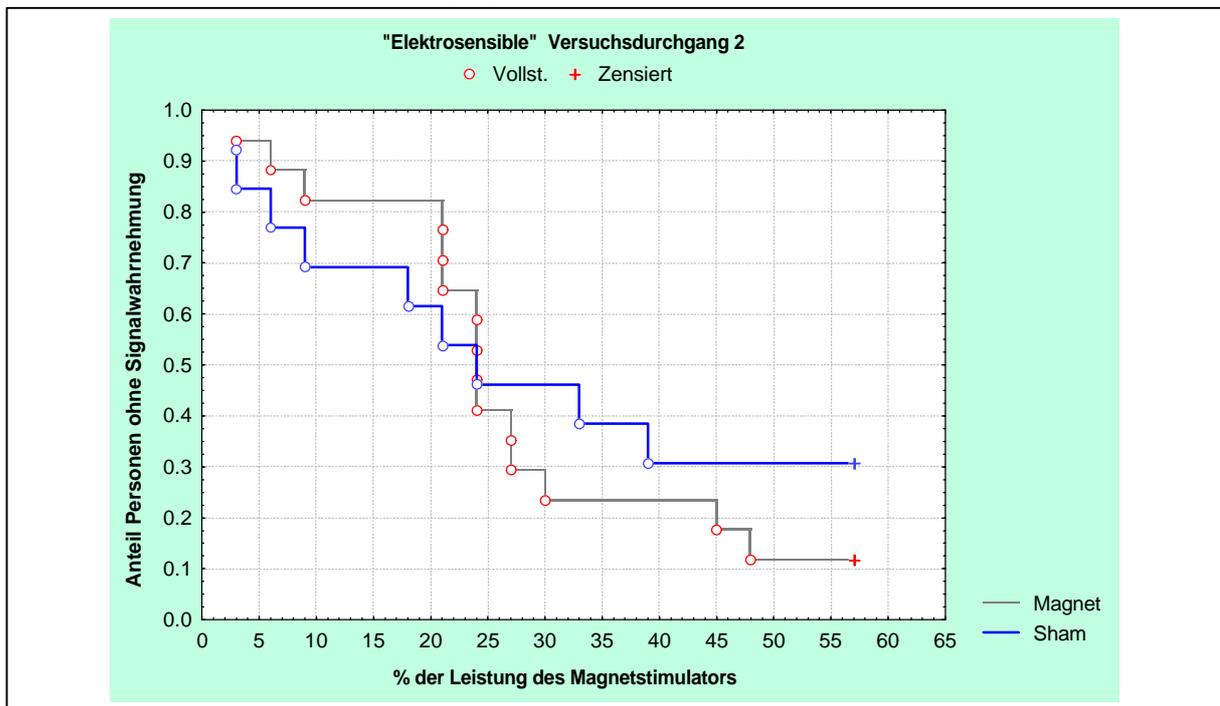
Dieses Verhalten zeigen „Elektrosensible“ nur zu 50%, wenn das Experiment für sie mit der Sham-Bedingung begann.

Abbildung 3.5: Durchgang 1 bei „Elektrosensiblen“



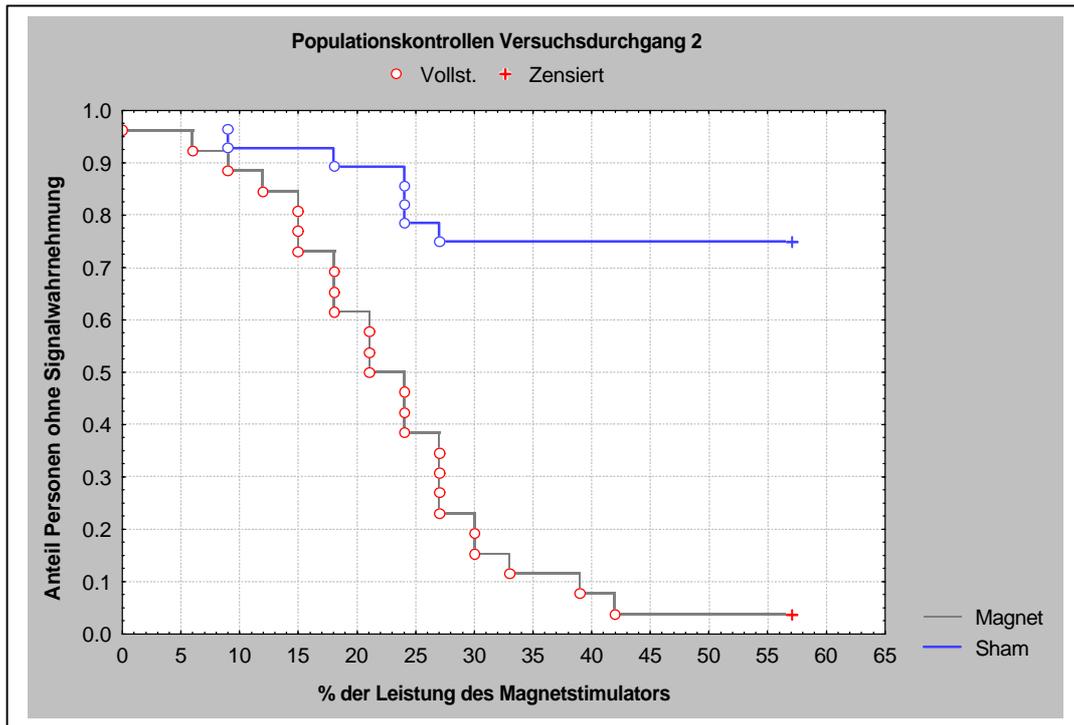
War aber der erste Durchgang bereits mit der echten Magnetspule durchgeführt worden, so zeigten nur 30% der „Elektrosensiblen“ beim darauf folgenden 2. Durchgang mit der Sham-Spule ein durchgängig korrektes, negatives Antwortverhalten bis zur 19. Reizung.

Abbildung 3.6: Durchgang 2 bei „Elektrosensiblen“



Für die Kontrollgruppen ergibt sich auch unter der Reihenfolge Verum-Sham beim 2. Versuchsdurchgang ein sehr hoher Prozentsatz von Versuchspersonen, die durchgängig in der Sham-Bedingung korrekt mit „Nein“ antworten, sie hätten kein Signal verspürt.

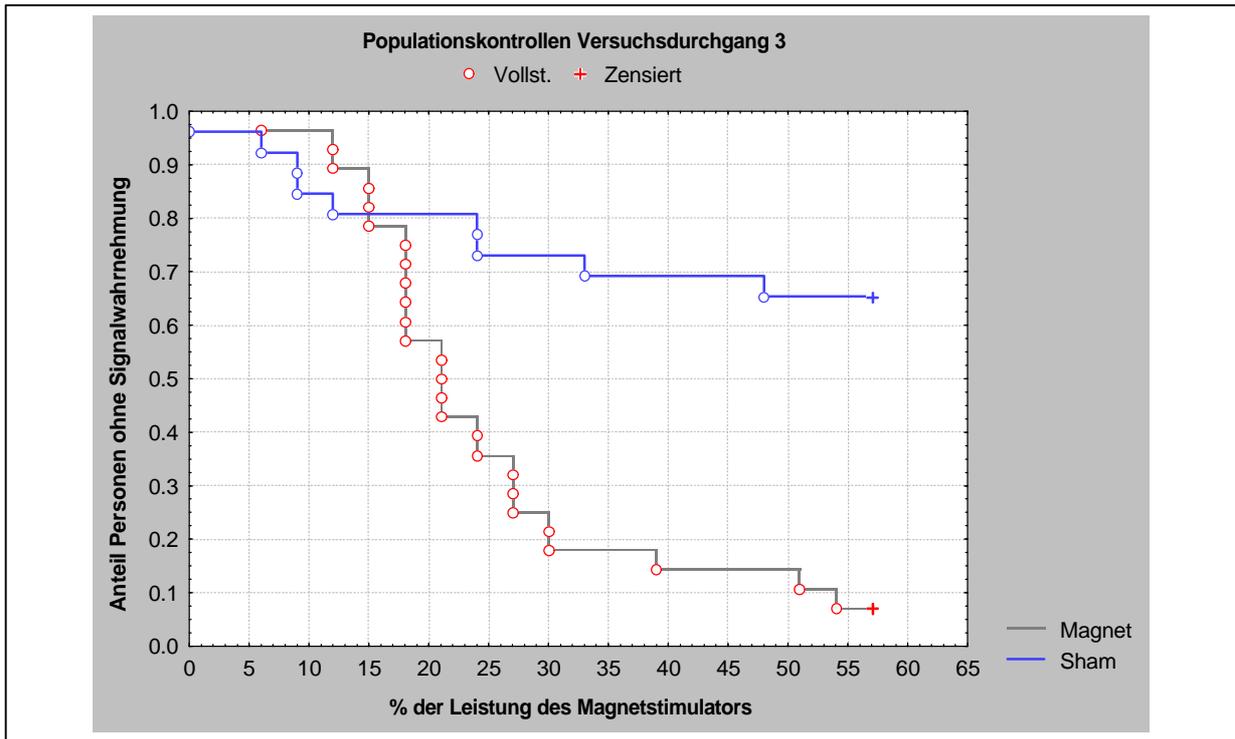
Abbildung 3.7: Durchgang 2 bei Populationskontrollen



Die Gruppe der Elektrosensiblen ist damit schlechter als die beiden Populationskontrollen in der Lage, einen echten Magnetimpuls von einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden.

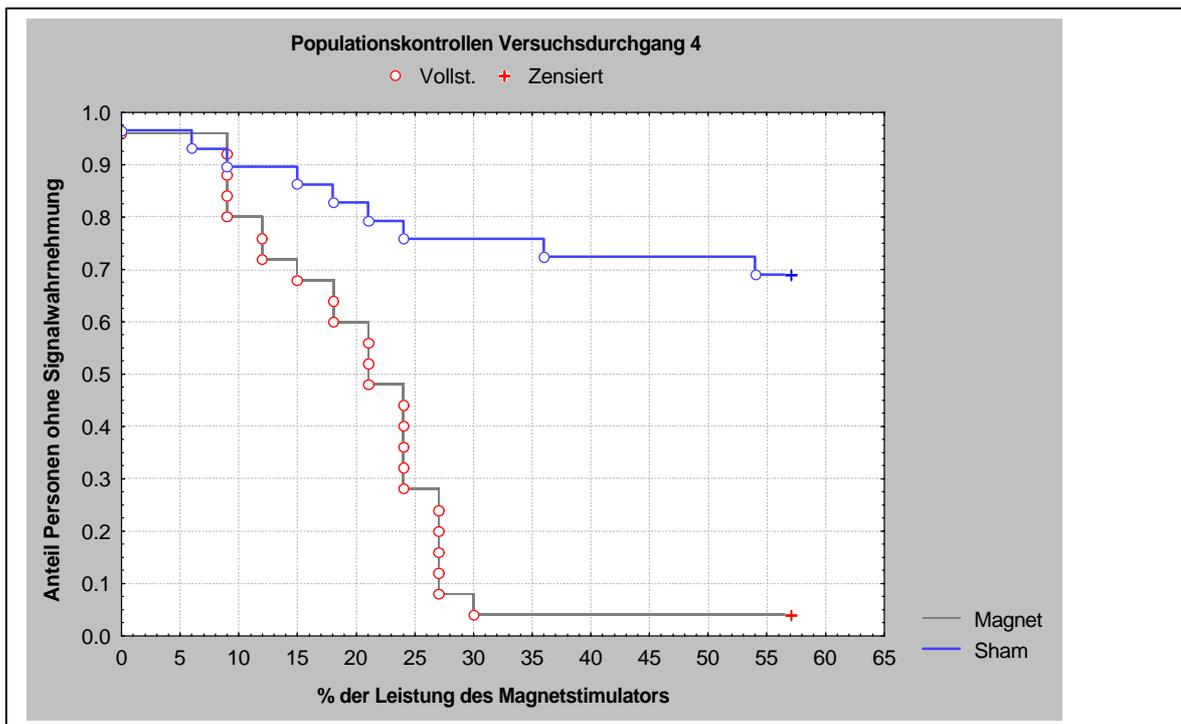
In leicht abgeschwächter Form tritt dieses unterschiedliche Wahrnehmungsmuster auch in der zweiten Hälfte des Experiments auf, also beim dritten und vierten Durchgang. Lerneffekte sind damit nur gering. Die Kontrollgruppen können gut zwischen tatsächlichem und vorgetäuschem Reiz unterscheiden. Nahezu alle Versuchspersonen erkennen bis zur Leistung von 0,9 Tesla den Magnetimpuls, wobei individuell die Wahrnehmungsschwelle breit streut.

Abbildung 3.8: Durchgang 3 bei Populationskontrollen



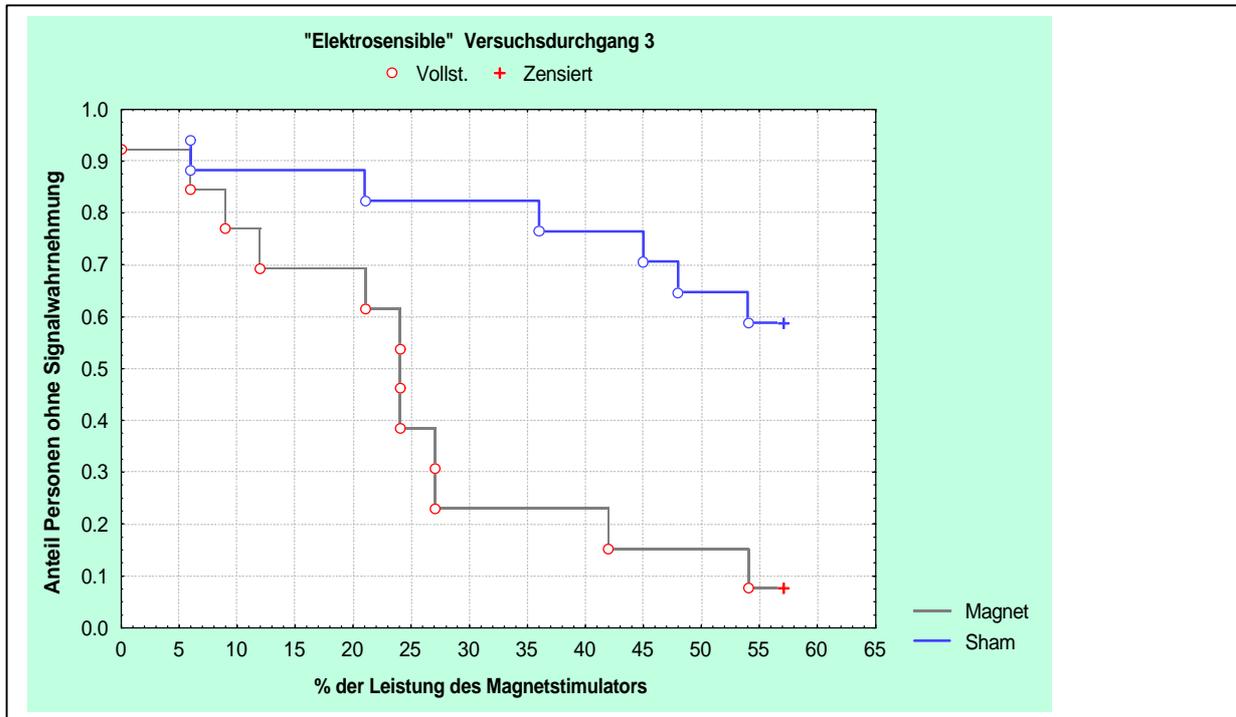
Etwa 70% antworteten in Durchgang 3 (also wenn bereits ein Vergleich zwischen Sham- und Magnetbedingung möglich gewesen war) adäquat negativ auf die Frage nach einer Reizung unter Sham-Bedingung. Im Durchgang vier fällt bei den Populationskontrollen, die nun erst das zweite mal einen Magnetimpuls verspüren können, die schnelle Reaktion auf: Bereits bis zumeist höchstens 25% der Stimulatorleistung wird der Impuls gespürt.

Abbildung 3.9: Durchgang 4 bei Populationskontrollen



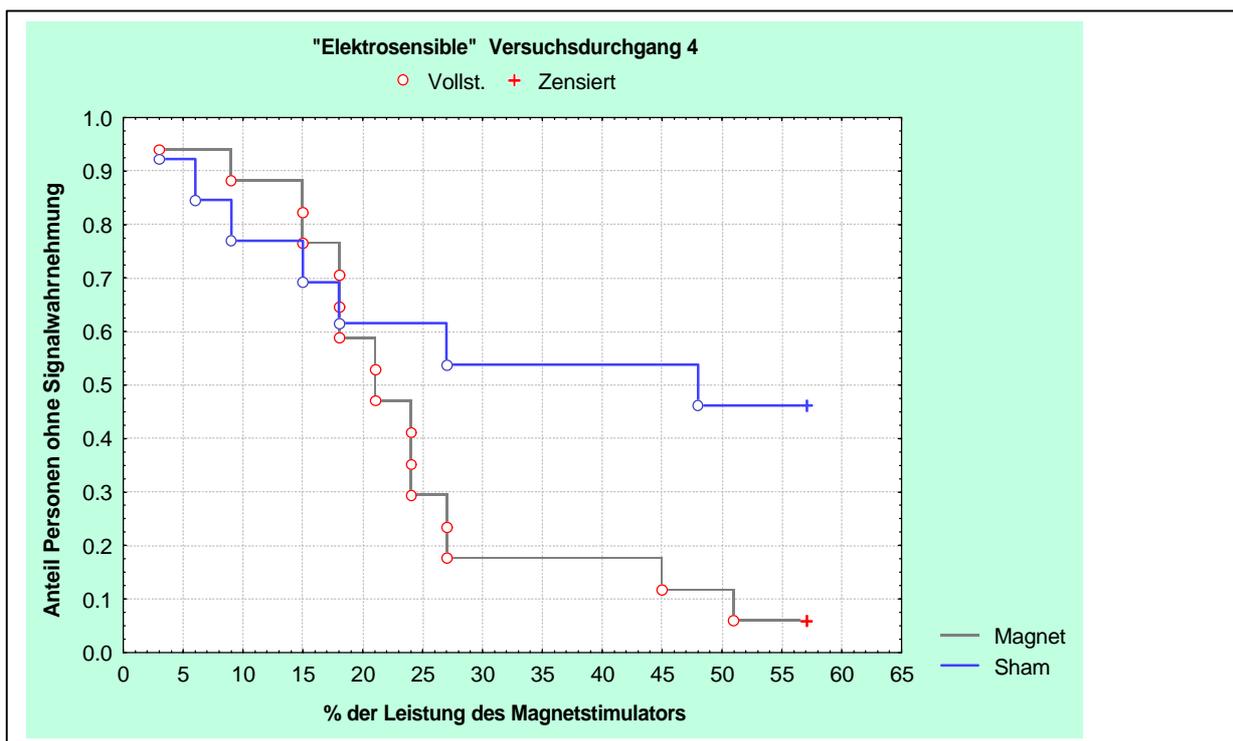
Bei den „Elektrosensiblen“ tritt dem Augenschein nach (ohne statistische Testung) die Detektierung des tatsächlichen Impulses im Vergleich zu den Kontrollgruppen verzögert auf (gepunktete Kurven fallen später).

Abbildung 3.10: Durchgang 3 bei „Elektrosensiblen“



Deutlich zeichnet sich aber erneut die Tendenz dieser Gruppe ab, bei Verwendung der Sham-Spule einen nicht vorhandenen Magnetimpuls subjektiv wahrzunehmen (durchgezogene Survivalkurven erreicht niedrigeres Niveau). Das gilt noch stärker als für den Durchgang 3 (der insgesamt mit der Sham-Bedingung begonnen hatte) für den Durchgang 4 (die Gruppe, die mit der Verum-Bedingung gestartet war).

Abbildung 3.11: Durchgang 4 bei „Elektrosensiblen“



Gut die Hälfte der Versuchspersonen unter dieser Bedingung verspürt bei Sham-Reizung einen „Magnetimpuls“.

3.5.2 Konfirmatorische Auswertung des Hauptzielkriteriums

Was die ersten zwei Durchgänge betrifft, so ergaben sich für die varianzanalytische Datenauswertung als Werte der Diskriminationsfähigkeit für die drei Gruppen (Sham- minus Verumsbedingung) im Mittel 23,4 Punkte (SD 16,0) bei den Hochbelasteten, 18,4 Punkte (SD 17,9) bei den Niedrigbelasteten und nur 11,7 (SD 17,2) bei den subjektiv „Elektrosensiblen“. In der zweiten Hälfte (Durchgang drei und vier) errechnete sich für die „Elektrosensiblen“ ein durchschnittlicher Abstand von 16,8 (SD 19,2) Punkten zwischen den Schwellen von Sham- und Verumsbedingung, für die Niedrigbelasteten 17,0 (SD 15,9), und die Hochbelasteten erreichten 28,3 Punkte (SD 14,4). Die drei zum Vergleich stehenden Gruppen unterschieden sich mit einem F-Wert⁴ von 5,39 (df 2, 74) statistisch signifikant in Bezug auf ihre Differenzierungsfähigkeit ($p=0,0066$). Somit kann die zentrale Hypothese des Experiments, daß „Elektrosensible“ eine veränderte Wahrnehmungsdifferenzierung aufweisen, als bestätigt angesehen werden.

⁴ Haupteffekt für „Gruppe“ in einer ANCOVA mit objektiven Schwellen (Ruhe, aktiv) als Kovariaten und Berücksichtigung sowohl des Reihenfolge-Effekts wie möglicher Geschlechtsunterschiede. Repeated measurement Ansatz für die beiden Abstandsmessungen.

Tabelle 3.5: Wert der Diskriminationsfähigkeit der drei Gruppen über die vier Durchgänge

Gruppe	N	1. Durchgang			2. Durchgang			Abstand 1:	
		Bedingung	M	S.D.	Bedingung	M	S.D.	M	S.D.
"E" ^{a)}	13	Magnet	24.2	17.4	Sham	29.5	21.9	8.0	14.8
	17	Sham	41.8	20.0	Magnet	27.5	15.9	14.3	18.8
	30	Gesamt	34.2	20.6	Gesamt	28.4	18.4	11.7	17.2
NB ^{c)}	16	Magnet	33.6	14.4	Sham	44.6	19.4	9.4	16.6
	12	Sham	50.3	15.8	Magnet	20.5	10.1	29.8	12.6
	28	Gesamt	40.7	17.0	Gesamt	34.3	20.0	18.4	17.9
HB ^{b)}	13	Magnet	30,5	17,5	Sham	51.9	12.4	21.5	17.5
	14	Sham	50.6	16.4	Magnet	25.3	13.0	25.3	14.9
	27	Gesamt	40,9	19,5	Gesamt	38,1	18.4	23.4	16.0
Gesamt	42	Magnet	29.7	16.4	Sham	42,2	20.2	12.5	17.9
	43	Sham	47.0	17.9	Magnet	24.8	13.5	22.2	17.0
	85	Gesamt	38.5	19.2	Gesamt	33.4	19.1	17.4	18,1
		3. Durchgang			4. Durchgang			Abstand 2:	
		Bedingung:	M	S.D.	Bedingung	M	S.D.	M	S.D.
"E" ^{a)}	13	Magnet	25.2	17.3	Sham	36.0	23.0	9.8	21.6
	17	Sham	46.2	18.0	Magnet	24.5	14.2	21.7	16.1
	30	Gesamt	37.1	20.4	Gesamt	29.5	19.1	16.8	19.2
NB ^{c)}	16	Magnet	27.8	17.1	Sham	44.6	19.9	15.4	16.7
	12	Sham	37.0	20.6	Magnet	18.0	9.8	19.0	15.4
	28	Gesamt	31.7	18.9	Gesamt	33.2	21.0	17.0	15.9
HB ^{b)}	13	Magnet	22.4	7.0	Sham	51,2	13,5	28.9	12,8
	14	Sham	49.3	19.6	Magnet	21.4	12.7	27.9	16.2
	27	Gesamt	36.3	20.1	Gesamt	35.8	19,9	28.3	14.4
Gesamt	42	Magnet	25.3	14.6	Sham	44,0	19,8	18,7	18.4
	43	Sham	44.7	19.5	Magnet	21.7	12.6	23.0	16.0
	85	Gesamt	35.1	19.7	Gesamt	32.7	19.9	20.9	17.3

Anmerkungen: ^{a)} E="Elektrosensible, ^{b)} HB=Hohe Beschwerdenlast, ^{c)} NB=Niedrige Beschwerdenlast
Wahrnehmungsschwellen jeweils als % der maximalen Leistung des Magnetstimulators

Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse waren nicht Bestandteil der a priori aufgestellten experimentellen Hypothesen. Sie sind daher als exploratorisch zu betrachten. Die berichteten Wahrscheinlichkeiten dienen dazu, empirisch brauchbare Hypothesen von eher unwahrscheinlichen Hypothesen zu unterscheiden. Sie beanspruchen aber nicht, im beschriebenen Experiment (das ja zu anderen Zwecken entworfen wurde) bestätigt worden zu sein.

War der erste Durchgang des Experiments die Sham-Bedingung (also im ersten und dritten Durchgang), so erreichten die Versuchspersonen durchgängig (über alle drei Gruppen hinweg betrachtet) einen sichtlich besseren Wert bzgl. der Diskriminationsfähigkeit (22,3 Punkte bei Durchgang eins und zwei bzw. 23,0 bei drei und vier) als wenn die Reihenfolge der Versuchsbedingungen umgekehrt war (also Sham im zweiten und vierten Durchgang). Hier wurden lediglich 12,5 Punkte (Durchgang eins und zwei) respektive 18,7 Punkte (Durchgang drei und vier) Diskriminationsfähigkeit erreicht. Diese Unterschiede sind als Effekt der Reihenfolge mit $F=6,61$ ($df=1,74$; $p=0,0122$) statistisch signifikant.

Ein Lerngewinn aufgrund der Wiederholung der gesamten Versuchsanordnung (Vergleich der Durchgänge 1+2 mit 3+4) konnte weder als Haupteffekt für alle Gruppen ($F = 2,53$;

df=1,47; p=0,1159), noch als Interaktionseffekt speziell für bestimmte Personengruppen ($F_{\text{Interaktion Lerngewinn*Gruppe}}=0,66$; n.s.) nachgewiesen werden.

Auch die Reihenfolge, ob mit Sham oder Magnet-Bedingung begonnen worden war, ergab keinen erkennbar unterschiedlichen Lerngewinn für die Versuchswiederholung ($F_{\text{Interaktion Lerngewinn*Reihenfolge}}=0,96$; n.s.).

Tabelle 3.6 Objektive Schwellen für Transkraniale Stimulation

Objektive Schwelle: Ruheschwelle		Objektive Schwelle: Aktive Schwelle		Gruppe:
Mittelwert	S.D.	Mittelwert	S.D.	
42.0	10.3	32.1	11.2	„E“ N=29
40.4	7.3	28.9	6.1	NB N=27
44.2	7.7	33.7	6.2	HB N=27
42.19	8.63	31.57	8.42	Gesamt N=83

Weder die aktive Schwelle ($F_{\text{aktive Schwelle}} = 0.24$; n.s.), noch die Ruheschwelle ($F_{\text{Ruheschwelle}} = 1.16$; d.f.=1, 74; p = 0.28), die zwischen dem Wahrnehmungsexperiment und dem nachfolgenden Doppelpulsverfahren erhoben worden waren, standen als Haupteffekt in einem Zusammenhang mit der erhobenen Wahrnehmungsleistung der Probanden. Auch standen die physiologischen Schwellen nicht in Interaktion mit einem besseren Lerngewinn bei Versuchswiederholung ($F_{\text{Ruheschwelle*Lerngewinn}} = 1.91$; d.f. = 1, 74; p=0.17; $F_{\text{aktive Schwelle*Lerngewinn}} < 1$; n.s.). Die Berücksichtigung möglicher Konfundierungen durch die ungleiche Geschlechterzusammensetzung der Versuchsgruppen ergab weder einen direkten noch einen indirekten Einfluss des Geschlechts auf die Diskriminationsfähigkeit. Dasselbe gilt für eine zusätzlich durchgeführte ANCOVA, die den Beschwerdenscore der vorangegangenen 7 Tage (EMF-Beschwerdenscore vgl. Abschnitt 2 dieses Berichts) als möglichen Prädiktor der Wahrnehmungsleistung erprobte. Mit einem F-Wert von < 1 konnte kein Zusammenhang zwischen Beschwerden und Wahrnehmungsdifferenzierung nachgewiesen werden.

3.5.3 Sekundäre Zielkriterien: Nutzung von Elektrogeräten, Krankheitskontrollüberzeugung

„Elektrosensible“ Personen gaben an, im vergleichbaren Ausmaß wie die beiden Kontrollgruppen über Elektrogeräte im eigenen Haushalt zu verfügen (Tabelle 3.7). Lediglich bei den Hochbelasteten ergab sich in deren Schlafzimmer eine durchschnittlich um ein Elektrogerät höhere Ausstattung. Dies hängt möglicherweise mit den in der Gruppe HB öfter vorhandenen Erkrankungen und der notwendigen medizinischen Versorgung zusammen.

Tabelle 3.7: Elektrogeräte im Haushalt

Gruppe	"E" (N=29) ^{a)}		HB (N=27) ^{b)}		NB (N=28) ^{c)}		Unterschied bedeutungssam?	
	M	SD	M	SD	M	SD	Prüfgröße	p-Wert
Elektrogeräte in -Schlafzimmer -Wohnzimmer -Küche	2,1	1,8	3,1	1,8	2,4	2,1	Kruskall-Wallis	0,0273
	4,8	2,7	5,1	2,2	4,9	3,1		0,5595
	5,8	2,1	6,6	2,5	5,9	2,6		0,2848
Besitz eines Handys	Ja: 50 %		Ja: 48%		Ja: 68%		Chiquadrat	0,2611

Der Besitz eines Handys war nicht nachweislich unterschiedlich zwischen den Personengruppen verteilt. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass mit der gegebenen Fallzahl für dichotome Variablen keine allzu hohe statistische Power erreicht wird.

Tabelle 3.8: Nutzungsintensität von Handy und TV, Kontrollüberzeugungen

Gruppe	"E"(N=15) ^{a)}		HB(N=12) ^{b)}		NB(N=19) ^{c)}		Unterschied bedeutungssam?	
	M	SD	M	SD	M	SD	Prüfgröße	p-Wert
Letzte Handyrechnung	DM 67,0	164,0	DM 24,58	28,4	DM 19,1	46,6	Kruskall-Wallis	0,7574
Gruppe	"E"(N=28) ^{a)}		HB(N=27) ^{b)}		NB(N=28) ^{c)}		Unterschied bedeutungssam?	
	M	SD	M	SD	M	SD	Prüfgröße	p-Wert
Fernsehkonsumentage in h	1,0	0,7	2,0	2,7	2,0	1,6	Kruskall-Wallis	0,0128
Fernsehkonsumentage am Wochenende in h	1,2	0,8	1,74	1,5	2,1	1,4	Kruskall-Wallis	0,0117
Gruppe:	"E"(N=29) ^{a)}		HB(N=27) ^{b)}		NB(N=28) ^{c)}		Unterschied bedeutungssam?	
	M	SD	M	SD	M	SD	Prüfgröße	p-Wert
Internale Ktrl.überzeugungen	28,0	3,9	27,0	5,9	26,1	5,3	F=0.3900	0,3900
Externale soziale Ktrl.überzeugungen	20,9	3,7	20,4	4,1	19,0	5,7	F=0.2835	0,2835
Externale fatalistische Ktrl. -überzeugungen	17,6	6,6	18,4	6,2	18,9	6,8	F=0,7584	0,7584

Anmerkungen: ^{a)} E="Elektrosensible, ^{b)} HB=Hohe Beschwerdenlast, ^{c)} NB=Niedrige Beschwerdenlast

Wie der Tabelle 3.8 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die "elektrosensiblen" Probanden von den beiden Kontrollgruppen nicht nachweislich in der Intensität, mit der sie – Handybesitz vorausgesetzt- diese Geräte nutzen: Unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit bezahlten die Handybesitzer für ihre Mobiltelefone Rechnungen, die vor allem wegen der hohen Varianz der genannten DM-Beträge keinen nachweisbaren Unterschied ergaben. Was den Fernsehkonsum sowohl wochentags als auch am Wochenende betrifft, so ist es hier die Gruppe der "Elektrosensiblen", die den signifikant niedrigsten Konsum angibt (p ~ 0.01).

In Bezug auf die durch den KKG-Fragebogen erhobenen Konzepte zu Krankheit und Gesundheit wurde auf keiner der drei relevanten Dimensionen (internale Kontrollüberzeugung, externale soziale Kontrollüberzeugung, externale fatalistische Kontrollüberzeugung) ein Gruppenunterschied deutlich.

Psychiatrische Komorbidität im Sinne „klassischer“ Störungen wie – Depression, -Angststörung, oder somatoforme Störung lag bei den „Elektrosensiblen“ entweder gar nicht vor (Angststörung, somatoforme Störung), oder exakt in dem Ausmaß, wie es vor dem Hintergrund der städtischen Wohnbevölkerung Regensburgs erwartbar war: Das psychiatrische Screening anhand der WHO CIDI short form erbrachte bei 10% der “Elektrosensiblen” Hinweise auf eine vorliegende Major Depression, was exakt den Anteil widerspiegelt, den die bereits eingangs erwähnte Repräsentativerhebung im Rekrutierungsgebiet erbracht hatte. Bei keinem der Niedrigbelasteten konnten derartige Hinweise entdeckt werden. Die Befragung der hoch belasteten Probanden ergab einen merklich höheren Anteil (50%) an Personen, deren Antwortverhalten auf eine mögliche Major Depression hindeutete.

3.5.4 Explorative Analyse weiterer physiologischer Parameter: Kortikale Exzitabilität (“Durch welche medizinischen Untersuchungen könnte ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen EMF und den angegebenen Beschwerden abgeklärt werden?”)

Nicht alle Versuchspersonen, für die eine Bestimmung der Wahrnehmungsschwellen für singuläre Magnetimpulse möglich war, haben an der anschließenden Doppelpuls-Messung teilgenommen. Sechs Personen (davon 5 aus der Gruppe der “Elektrosensiblen” und 1 aus der Gruppe der Niedrigbelasteten) verweigerten nach Abschluss der Schwellenbestimmung die weitere Teilnahme an der Messung ihrer kortikalen Exzitabilität. Für weitere sieben Personen (2 sensible, 1 niedrig belastete, 4 hoch belastete Vpn) war nach Abschluss der Doppelpulsmessungen die Auswertung der Messdaten aus technischen Gründen nicht möglich (Artefakte aufgrund individuell hoher motorischer Schwellen). Daher können für die nachfolgenden Analysen nur die Daten von insgesamt $n = 72$ Personen ausgewertet werden. Weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Stichprobenausfälle mit dem zu messenden Ereignis korrelieren, sind die nachfolgenden Ergebnisse mit besonderer Sorgfalt zu interpretieren.

Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass mit der Bestimmung der kortikalen Exzitabilität bei subjektiv “Elektrosensiblen” Personen und ihrem Vergleich mit Populationskontrollen wissenschaftliches Neuland betreten wird, und von daher auch der Bericht von möglicherweise mit Bias behafteten Ergebnissen gerechtfertigt erscheint.

Unter der (extrem kurzen) Verzögerung von 2 ms, mit der der zweite Stimulus auf den konditionierenden Magnetimpuls folgt, ergibt sich üblicherweise eine Inhibition der motorischen Antwort am Musculus abductor digiti minimi. Dies gilt auch für alle drei hier untersuchten Gruppen (Abbildung 3.12). Die mittleren Potenzialantworten liegen um die Werte von 0.5 bis 0.8. Die hinsichtlich Fazilitierung bzw. Inhibierung “neutrale” Verzögerungsbedingung von 6 ms Zeitabstand wurde im hiesigen Doppelpuls-Experiment ebenfalls zumeist mit Mittelwerten nahe beim Wert 1 gemessen. Die Muskelantwort entspricht damit der Potenzialstärke beim einmaligen Impuls mit (individuell eingestellter) Schwellenstärke. Lediglich die Gruppe “Männer / Hochbelastete” liegt deutlich höher bei einem Mittelwert von 1.5, der aber auf der Messung von nur fünf Männern beruht. Wird zwischen den beiden Magnetimpulsen eine Verzögerungszeit von 15 ms geschaltet, dann wirkt der erste Impuls auf die Muskelantwort des zweiten Impulses steigernd (Fazilitation). Dies kann für beide Geschlechter und beide Kontrollgruppen (Hochbelastete, Niedrigbelastete) mit mittleren Niveaus der Potenzialstärken um 1.4 beobachtet werden. In der Gruppe der “Elektrosensiblen” bleibt der Fazilitationseffekt aber weitgehend aus. Die Verzögerungsbedingung von 15 ms erzielt hier Muskelpotenziale, die ganz nahe bei der Muskelantwort von 6 ms Verzögerung, und damit ganz nahe bei der unconditionierten Reizbedingung liegen. Für “Elektrosensible” zeichnet sich also eine neurophysiologische Unterschiedlichkeit ihrer kortikalen Exzitabilität im Vergleich zu Populationskontrollen ab: Sie sind weniger “fazilitierbar” als die Kontrollpersonen.

Eine statistische Überprüfung der visuellen Interpretation von Abbildung 3.12 durch ein varianzanalytisches Modell (Geschlecht, Gruppenzugehörigkeit als between-subjects Faktoren, ISI-Zeiten als Messwiederholungsfaktor) bestätigt diesen Eindruck mit leichten Einschränkungen: Der Faktor "Gruppe" weist mit $F = 5.81$ (d.f. = 2, 66; $p = 0.0048$) auf Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen hin. Das Geschlecht wirkt sich in den verschiedenen Untersuchungsgruppen unterschiedlich auf die kortikale Exzitabilität aus ($F_{\text{Geschlecht} \times \text{Gruppe}} = 5.94$; d.f.=2, 66; $p=0.0042$). Die Veränderung der Interstimulus-Intervalle (Messwiederholungsfaktor) wirkt sich klar auf die kortikale Exzitabilität aus ($F_{\text{ISI-Zeit}} = 62.81$; d.f.=2, 132; $p < 0.001$). Die oben diskutierte Wechselwirkung aus speziell bei 15 ms verringerter Fazilitierung in der Gruppe der "Elektrosensiblen" erreicht einen F-Wert von 2.25 (d.f.=4, 132; $p = 0.0675$) und kann damit nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von knapp 7% nachgewiesen werden. Da die hier vorgestellten Untersuchungen wissenschaftliches Neuland betreten und die statistische Auswertung explorativen Charakter hat, sollte der Hypothese einer veränderten kortikalen Exzitabilität von "elektrosensiblen" Personen, und dabei speziell einer möglicherweise geringeren Fazilitation in weiteren Studien nachgegangen werden. Die gefundenen Gruppenunterschiede können möglicherweise einen Einstieg bieten in das Verständnis der neurophysiologischen Grundlagen desjenigen Prozesses, der für "Elektrosensible" eine schlechtere Differenzierung von externen und propriozeptiven Reizen (vgl. konfirmatorisches Experiment zu subjektiven Wahrnehmungsschwellen) bedingt.

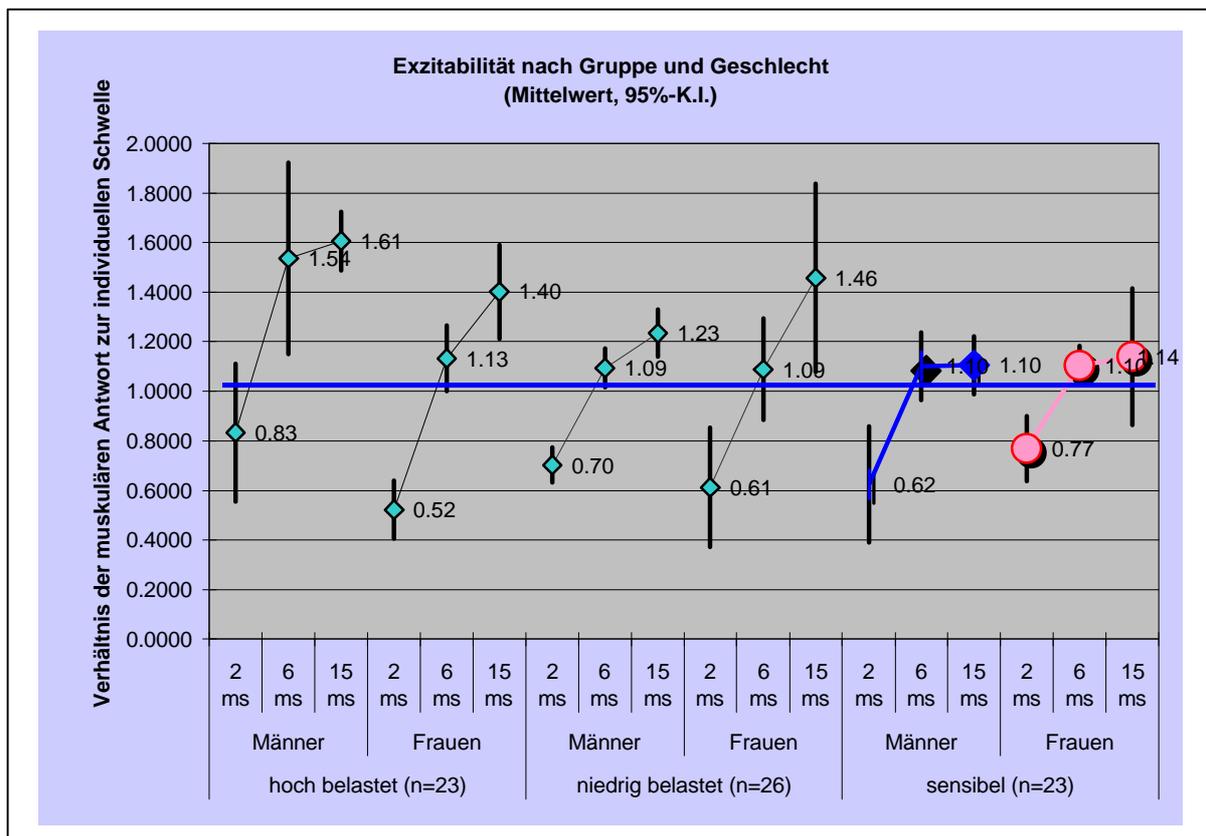


Abbildung 3.12 Kortikale Exzitabilität der Vergleichsgruppen

3.6 Literatur zu Kapitel 3

- Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, Jarratt JA (1987): Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation. *Neurosurgery* 20:100-109.
- Burt T, Lisanby SH, Sackeim HA (2002): Neuropsychiatric applications of transcranial magnetic stimulation: a meta analysis. *International Journal of Neuropsychopharmacology* 5:73-103.
- Buysse D, Reynolds Cr, Monk T, Berman S, Kupfer D (1989): The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 28:193-213.
- Chen R, Gerloff C, Classen J, Wassermann EM, Hallett M, Cohen LG (1997): Safety of different inter-train intervals for repetitive transcranial magnetic stimulation and recommendations for safe ranges of stimulation parameters. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 105:415-421.
- Cicinelli P, Traversa R, Bassi A, Scivoletto G, Rossini P (1997): Interhemispheric differences of hand muscle representation in human motor cortex. *Muscle Nerve* 20:535-542.
- Cohen E, Bernardo M, Masana J, et al (1999): Repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of chronic negative schizophrenia: a pilot study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 67:129-130.
- Dolberg O, Schreiber S, Grunhaus L (2001): Transcranial magnetic stimulation-induced switch into mania: a report of two cases. *Biol Psychiatry* 49:468-470.
- Frick U, von Kovatsits U, Mayer M, Binder H, Eichhammer P, Rehm J (under review): "Elektrosmog-Beschwerden" - Analyse des Beschwerdenprofils und seiner Verbreitung in der Allgemeinbevölkerung. *Psychiat Prax* .
- Garcia-Toro M (1999): Acute manic symptomatology during repetitive transcranial magnetic stimulation in a patient with bipolar depression. *Br J Psychiatry* 175:491.
- Gates JR, Dhuna A, Pascual-Leone A (1992): Lack of pathologic changes in human temporal lobes after transcranial magnetic stimulation. *Epilepsia* 33:504-508.
- Haag C, Padberg F, Möller HJ (1997): Transkranielle Magnetstimulation (rTMS)- Ein Diagnostikum aus der neurologie als Therapeutikum in der Psychiatrie? *Nervenarzt* 68:274-278.
- Hillert L, Kolmodin Hedman B, Söderman E, Arnetz BB (1999): Hypersensitivity to electricity: working definition and additional characterization of the syndrome. *J of Psychosomatic Research* 47:429-483.
- Höflich G, Kasper S, Hufnagel A, Ruhrmann S, H.J. M (1993): Application of transcranial magnetic stimulation in treatment of drug-resistant major depression - a report of two cases. *Human pharmacology* 8:361-365.
- Kalbfleish JD, Prentice RL (1980): *The Statistical Analysis of Failure Time Data*. New York: John Wiley.
- Kujirai T, Caramia M, Rothwell J, et al (1993): Corticocortical inhibition in human motor cortex. *J Physiol* 471:501-519.
- Levenson H (1973): Multidimensional locus of control in psychiatric patients. *J Consult Clin Psychol* 41:397-404.
- Lohaus A, Schmitt GM (1989): *Fragebogen zur Erhebung von Kontrollüberzeugungen zu Krankheit und Gesundheit (KKG) - Manual* -. Göttingen: Hogrefe.
- Nelson C, Kessler R, Mroczek D (2001): Scoring the World Health Organization's Composite International Diagnostic Interview Short Form. Geneva: World Health Organisation.
- Ravnborg M, Knudsen GM, Blinkenberg M (1990): No effect of pulsed magnetic stimulation on the blood-brain barrier in rats. *Neuroscience* 38:277-280.
- Rief W, Hiller W, Heuser J (1997): *SOMS das Screening für somatoforme Störungen. Manual*. Bern: Huber.
- Speer AM, Repella JD, Figueras S, et al (2001): Lack of adverse cognitive effects of 1 Hz and 20 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation at 100% of motor threshold over left prefrontal cortex in depression. *J of ECT* 17:259-263.
- Triggs W, McCoy K, Greer R, et al (1999): Effects of left frontal transcranial magnetic stimulation on depressed mood, cognition, and corticomotor threshold. *Biol Psychiatry* 45:1440-1446.
- Wassermann EM (1998): Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the Safety of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, June 5-7, 1996. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 108:1-16.

- Wassermann EM, Grafman J, Berry C, et al (1996): Use and safety of a new repetitive transcranial magnetic stimulator. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 101:412-417.
- Wassermann EM, Greenberg BD, Nguyen MB, Murphy DL (2001): Motor cortex excitability correlates with an anxiety-related personality-trait. *Biol Psychiatry* 50:377-382.
- Ziemann U (2001): Transkranielle Magnetstimulation: Neue Einsatzmöglichkeiten zur Messung kortikaler und kortikospinaler Erregbarkeit. *Akt Neurol* 28:249-264.
- Ziemann U, J.C. R, M.C. R (1996): Interaction between intracortical inhibition and facilitation in human motor cortex. *J Physiol* 496:873-881.
- Ziemann U, Paulus W, Rothenberger A (1997): Decreased motor inhibition in Tourette's disorder: Evidence from transcranial magnetic stimulation. *American Journal of Psychiatry* 154:1277-1284.
- Zyss T, Witkowska B (1996): Transcranial magnetic stimulation neurophysiological and biochemical response in man. *Neurologia i Neurochirurgia Polska* 30:399-408.

4. Einfluss der Befragungssituation auf EMF-bezogene Beschwerden ("Können ähnliche Erfolge auch durch verstärkte Aufklärung erreicht werden?")

Wie im Durchführungskonzept für die Machbarkeitsstudie vorgesehen, wurde der mögliche Einfluss der Befragungssituation auf Art und Häufigkeit des Berichts EMF-bezogener Beschwerden bereits in der Feldphase I einer experimentellen Testung zugeführt. Es sollte überprüft werden, ob die mit Elektrosensibilität in Zusammenhang gebrachten Beschwerden durch kognitive Prozesse in der Situation der Selbstevaluation (also beim Symptom-Report) beeinflusst werden können. Der Bericht über dieses Experiment wurde anhand der Daten der ersten 340 Befragten im Int. J. Hygiene and Environmental Health veröffentlicht (Frick et al 2002). Die sozialpsychologische Theorie hinter dem experimentellen Design kann in diesem Artikel ausführlich nachgelesen werden. Im Rahmen dieses Studienendberichts sollen lediglich die Ergebnisse der kompletten Stichprobe, wie sie nach Abschluss von Feldphase I möglich war, in deutscher Sprache berichtet werden.

4.1 Experimentelles Design

Unmittelbar vor der Abfrage der oben beschriebenen Symptomliste EMF-bezogener Beschwerden wurden die Befragten gebeten, verschiedene Situationen daraufhin zu vergleichen, welche Situation aus der Sicht der Befragten das jeweils für sie persönlich größere Risiko darstellte.

Einleitungstext (standardisiert) des Befragungsexperiments

Im Folgenden geht es um Ihre Einschätzung, wie groß Sie eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch verschiedene Umweltereignisse für sich selber einschätzen. Ich werde Ihnen jeweils zwei Ereignisse sagen. Sie sagen mir bitte, welches von beiden Sie für dasjenige halten, das für Sie ganz persönlich die größere Gefahr darstellt. Bitte entscheiden Sie sich für jeweils nur eine Antwort.

Zum Vergleich standen im kompletten Paarvergleich jeweils drei Szenarien. Zwei der drei Szenarien waren dabei für alle Befragten identisch:

Szenario 1:

Eine schwere Grippe, bei der Sie über 40 Grad Fieber haben und 3 Wochen im Bett bleiben müssen.

Szenario 2:

Eine Erkrankung aufgrund von elektromagnetischen Feldern erleiden.

Rückfragen der ProbandInnen nach einer genaueren Klärung von Szenario 2 wurden standardisiert wie folgt beantwortet:

Bei Rückfragen: Zum gegenwärtigen Zeitpunkt des medizinischen Wissens ist eben noch unklar, ob und wenn ja, welche Erkrankung(en) das genau sein könnte(n). Es geht darum einzuschätzen, wie groß Sie dieses unbekanntes Risiko für sich selbst einschätzen.

Das dritte Szenario wurde systematisch in einem 2x2-Design zwischen den Personen nach Zufall variiert. Dabei wurde versucht, die vom Probanden erfragte Evaluation des möglicherweise von elektromagnetischen Feldern ausgehenden Gesundheitsrisikos in einen unter-

schiedlichen kognitiven Kontext zu stellen. Als zentrale Dimensionen der subjektiven Risikowahrnehmung sind aus der Literatur die

- subjektive Wahrscheinlichkeit (subjective probability), mit der ein Ereignis die Person betrifft, sowie das dem Ereignis innewohnende

- physische Bedrohungspotential (threat) als Einflussdimensionen bekannt (Slovic 1987). Die beiden Szenarien mit hoher subjektiver Wahrscheinlichkeit waren die Beschreibungen zweier unterschiedlicher Verkehrsunfälle. Demgegenüber wurden für unwahrscheinliche Ereignisse ein Atomunfall in den Regensburg benachbarten Kernkraftwerken Ohu oder Temelin, bzw. ein Gewitter mit Blitzeinschlag in freier Natur gewählt.

Die sprachlichen Operationalisierungen für die Ereignisse mit hohem Bedrohungspotential waren dementsprechend:

Variiertes Szenario 3:

- probability low, **threat high:**

Nach einem schweren Atomunfall in einem Atomkraftwerk (z.B. Temelin in Tschechien oder Ohu bei Landshut) schwer verstrahlt zu werden und strahlenkrank zu werden.

- probability high, **threat high:**

Ein Verkehrsunfall, bei dem Sie selber eingeklemmt und schwer verletzt werden

Das niedrige physische Bedrohungspotential wurde so formuliert:

- probability low, **threat low:**

In ein schweres Gewitter zu geraten, bei dem in geringer Nähe ein Blitz einschlägt und Sie anschließend 2 Wochen mittelstarke Kopfschmerzen haben

- probability high, **threat low:**

Ein Verkehrsunfall, bei dem Sie ein Halswirbel-Schleudertrauma erleiden und 3 Wochen eine Halskrause tragen müssen.

Der dritte hier in das Design aufgenommene Faktor für Risikowahrnehmung wird in der Literatur als „erlebte Kontrolle“ bezeichnet. Dies ist die Kontrolle, von der eine Person glaubt, sie auf das Ereignis ausüben zu können. Dieser Faktor wurde dadurch variiert, dass die Versuchsperson ihre Meinung auf folgende Fragen ausdrücken sollten:

Experimenteller Faktor „Erlebte Kontrolle“

geringe Kontrolle:

In jüngster Zeit war zum Thema Umweltpolitik sehr viel in den Zeitungen zu lesen und es wurde in der Politik stark diskutiert über die Planung neuer Eisenbahn-Trassen. Sind Sie der Ansicht, dass die Bevölkerung bei der Planung neuer ICE-Trassen das Recht bekommen sollte, darüber per Volksentscheid abzustimmen?

hohe Kontrolle:

In jüngster Zeit war zum Thema Umweltpolitik sehr viel in den Zeitungen zu lesen und es wurde in der Politik stark diskutiert über die Planung neuer Standorte für Mobilfunk-Sender. Im Bundesland Salzburg wurden beispielsweise die Grenzwerte für die Abstrahlung von sogenannten Handy-Masten auf 1 mW/qm abgesenkt. Sind Sie der Ansicht, dass die Bevölkerung bei der Planung von Handy-Sendemasten das Recht bekommen sollte, darüber per Volksentscheid abzustimmen?

Während die Kontrolle über ICE-Trassen für das Thema der möglichen Gefährdungen durch elektromagnetische Felder keinerlei positiven Hinweis auf eine mögliche Kontrolle liefert, sondern sogar eher als Vergleichsstandard wirken könnte, im Vergleich zu dem die Situation bei EMF ungleich leichter wirken könnte, stellt die Frage nach Volksabstimmungen

über Standort und Sendeleistungen von Sendemasten für Mobiltelefone beim Befragten eine mögliche Kontrolle des perzipierten Gefährdungspotenzials im Kurzzeitgedächtnis für die unmittelbar nachfolgende Beantwortung der EMF-bezogenen Symptomliste salient. Sie ist also unmittelbar dem Bewußtsein zugänglich.

Die Erkenntnisziele dieses Experiments waren:

1) Hängt das Ausmaß der berichteten Symptome davon ab, in welche unterschiedlichen kognitiven Kontexte die EMF-bezogenen Risiken vorher gestellt wurden, dann spricht dies dafür, dass psychologische Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsmechanismen für die Therapie einer EMF-attribuierten Befindensstörung einen essentiellen Beitrag leisten können. Der mögliche Nachweis des Einflusses kognitiver Mechanismen (vgl. auch (MacGregor et al 1994), (MacGregor and Fleming 1996)) darf aber nicht als Ausschluss anderer kausaler Bedingungen (z.B. physikalischer Feldwirkungen) missverstanden werden. Über letztere wird in diesem experimentellen Design ja keine Aussage getroffen.

2) Es wurde nicht erwartet, dass alle befragten Personen gleichgerichtet auf die unterschiedlichen Kontexte reagieren würden. Vielmehr gingen wir davon aus, dass Personen, die stärker zu Somatisierungen neigen, auf die experimentelle Manipulation anders reagieren würden, als Personen mit geringer Somatisierungsneigung. Die eingangs des Interviews abgefragten Items der Skala SOMS wurden deshalb dazu benutzt, die Probanden diagnostisch in zwei Klassen einzuteilen:

- „hohe Somatisierungstendenz“ := mehr als 1 Symptom in den letzten 2 Jahren erlitten, für das trotz medizinischer Untersuchung keine Ursache auffindbar war.
- „Geringe Somatisierungsneigung“ wurde operationalisiert als „kein oder maximal 1 derartiges Symptom empfunden“.

4.2 Varianzanalytische Auswertung

Frauen (MW = 19,3 SD=12,3) berichten im Schnitt für die vergangenen 30 Tage um knapp 5 (leicht ausgeprägte) Beschwerden mehr als Männer (MW = 14,6 SD=11,3). Dieser Unterschied ist im F-Test klar signifikant (Tabelle 4.1: "female"). Von den drei Faktoren, die daraufhin überprüft wurden, ob sie das Beschwerdenprofil der Befragten verändern können, konnte die subjektive Wahrscheinlichkeit (Tabelle 4.1: "probab") und die erlebte Kontrolle über das Ereignis (Tabelle 4.1: "control") keinen nachweislichen Einfluss auf den Symptombericht ausüben.

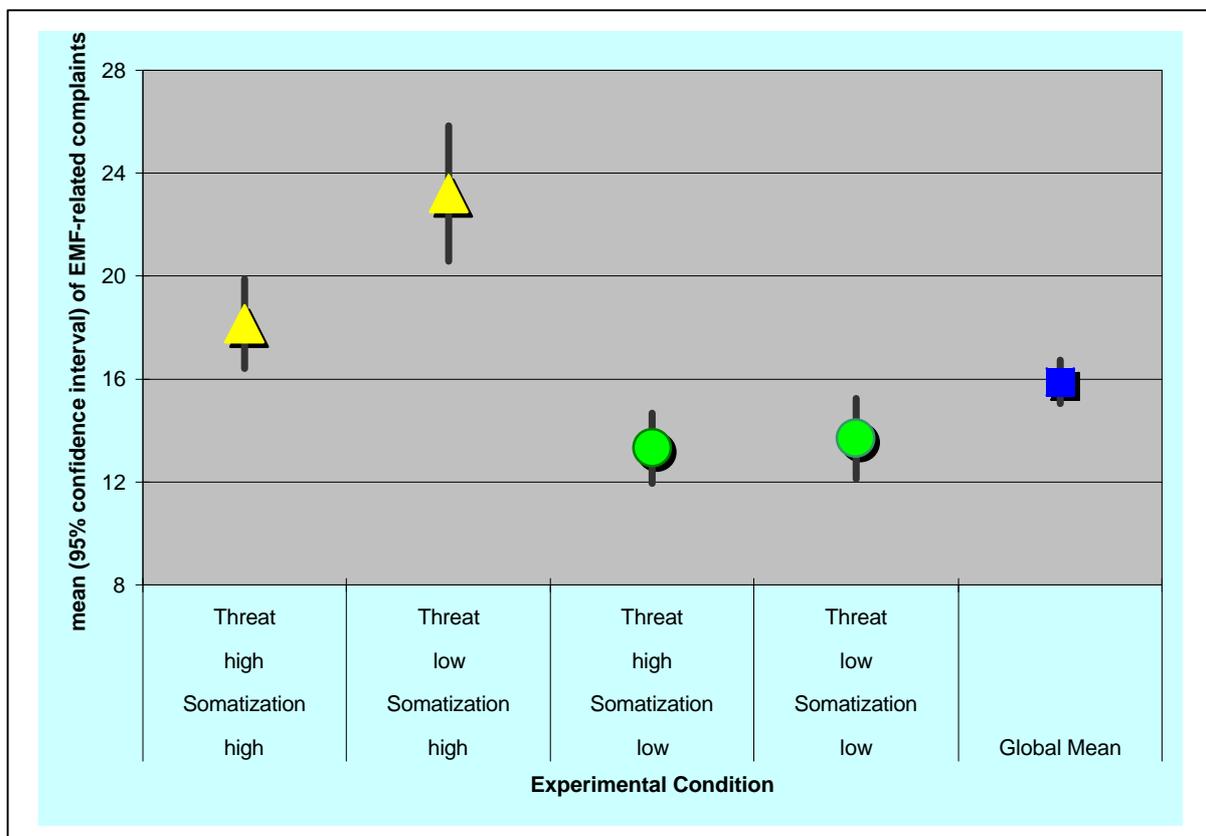
Tabelle 4.1: Varianzanalyse des Befragungsexperimentes (finales Modell)

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
probab	1	0.014821	0.014821	0.00	0.9915
threat	1	917.252603	917.252603	7.01	0.0083
control	1	158.495862	158.495862	1.21	0.2713
female	1	3837.736687	3837.736687	29.35	<.0001
somshigh	1	7086.886947	7086.886947	54.19	<.0001
threat*somshigh	1	744.203866	744.203866	5.69	0.0173
Sum of Squares					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	12998.6830	2166.4472	16.57	<.0001
Error	711	92980.8435	130.7747		

Im Vergleich berichteten die Untersuchungsteilnehmer immer dann, wenn ihnen ein Ereignis mit einem hohen physischen Bedrohungspotenzial (Tabelle 4.1: "threat") ins Gedächtnis gerufen wurde, von durchschnittlich 15,3 (SD 12,5) Beschwerden. Wenn das Vergleichsereignis physisch weniger bedrohlich ausfiel (threat: low), dann berichteten die Befragten durchschnittlich eine (leichte) Beschwerde mehr (MW = 16,6 SD=11,9). Dieser Mittelwertsunterschied ist zwar nicht sehr hoch, aber wegen der großen Stichprobe klar signifikant. Die Einteilung der Befragten in "hohe Somatisierungsneigung" und "geringe Somatisierungsneigung" aufgrund ihrer Aussagen in einem standardisierten diagnostischen Instrument (SOMS) bedeutete demgegenüber für die Zahl der berichteten EMF-relevanten Beschwerden einen weitaus deutlicheren Unterschied (Tabelle 4.1: "somshigh"). Während Personen mit geringer Somatisierungstendenz nur durchschnittliche 13,4 Beschwerden (SD=11,4) für die letzten 30 Tage erinnerten, berichteten Personen mit hoher Somatisierungstendenz fast 7 Symptome mehr, nämlich 20,2 EMF-bezogene Beschwerden (SD=12,3).

Wichtig sind für die Auswertung des Befragungsexperimentes aber die Interaktionen erster Ordnung zwischen den experimentell manipulierten Bedingungen (Subjektive Wahrscheinlichkeit, physisches Bedrohungspotenzial, subjektive Kontrolle) und der Somatisierungstendenz. Es war erwartet worden, dass jeweils stärker zur Somatisierung neigende Personen vom kognitiven Umfeld während des Symptomberichtes stärker beeinflusst werden. Die Wechselwirkungen für "Subjektive Wahrscheinlichkeit" und "Subjektive Kontrolle" mit der Somatisierungsneigung konnten jedoch nicht nachgewiesen werden (beide $p > 0.30$). Jedoch steht das Ausmaß der physischen Bedrohung, das von einem Vergleichsereignis ausgeht, in einer deutlichen Interaktion mit der Somatisierungsneigung (Tabelle 4.1: "threat*somshigh", vgl. auch Abbildung 4.1)

Abbildung 4.1: Mittlere Symptomausprägung in den Experimentalgruppen



Während nämlich die stärker zur Somatisierung neigenden Personen eine deutliche Symptomreduktion erfahren, wenn man ihnen einen stark bedrohlichen Vergleichsreiz ins Gedächtnis ruft, spielt das experimentelle Design für die wenig zur Somatisierung neigenden

Personen praktisch keine Rolle: Sie berichten unter beiden Bedingungen (threat high und threat low) immer deutlich weniger Beschwerden als der Bevölkerungsdurchschnitt.

4.3 Bedeutung der Ergebnisse

Mit den oben berichteten Ergebnissen kann die vom BfS in der Ausschreibung dieser Machbarkeitsstudie gestellte Frage, ob nämlich vergleichbare Erfolge im Sinne einer Symptombesserung, wie sie für eine als erfolgreich unterstellte physikalisch-technische "Elektrosanierung" der Umgebung elektrosensibler Personen erreicht werden könnten, auch von anderen Maßnahmen zu erwarten seien, vorläufig mit einem mutmaßlichen⁵ "JA" beantwortet werden. Durch Veränderung des kognitiven Kontextes, in dem EMF-bezogene Beschwerden evaluiert werden, kann das berichtete Beschwerdenlevel klar gesenkt werden. Zwar wurde im geschilderten Experiment keine "Aufklärung" im klassischen Sinne der Präventionsmedizin betrieben. Aber es wurde nachgewiesen, dass insbesondere bei Personen mit hoher Somatisierungstendenz der Symptomreport ganz deutlich von kognitiven Vergleichen abhängt. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den diversen Literaturberichten, die von guten Erfolgen einer kognitiven Verhaltenstherapie bei "Elektrohypersensibilität" berichten ((Andersson et al 1996) (Hillert et al 1998) (Harlacher and Schahn 1998)).

Ob Personen mit selbst empfundener "Elektrosensibilität" immer zu den "Personen mit Somatisierungstendenz" im Sinne der Operationalisierung unseres Befragungsexperiments zu zählen sind, kann aufgrund der in Feldphase II untersuchten 30 freiwilligen Personen nicht sicher entschieden werden. Dazu ist einerseits die Datenbasis zu klein, andererseits ist zudem unklar, wie aussagekräftig eine Stichprobe von per Zeitungsaufwurf gewonnenen Versuchspersonen für die in ihrer Größe unbekannt Population aller subjektiv "Elektrosensiblen" in Deutschland sein kann. Immerhin: von den 30 Versuchspersonen der Feldphase II waren 12 (das sind 40%) "Personen mit Somatisierungstendenz" i.S. der obigen Definition. In den Vergleichsgruppen aus der Population waren sowohl die Hochbelasteten wie auch die Niedrigbelasteten zu jeweils 0% in diese Gruppe zu zählen. Die an unserem TMS-Experiment beteiligten "elektrosensiblen Personen" können nicht als repräsentativ für die Gesamtpopulation aller Personen in Deutschland gelten, welche über EMF-Beschwerden klagen und sich als "elektrosensibel" definieren. Die Bereitschaft, an einem Expositionsversuch mit transkraniellen Magnetimpulsen teilzunehmen, hat vermutlich eher zu einer Selektion von Personen geführt, die hinsichtlich Somatisierungsneigung (noch?) zu Falsifikationsanstrengungen bereit war, deren "kognitives Schema", elektrosensibel zu sein, also noch nicht völlig starr –wie im Abschnitt 1.4 idealtypisch dargestellt- ausgeprägt sein konnte. Der Unterschied hinsichtlich Somatisierungstendenz bleibt trotzdem eindrucksvoll, insbesondere deshalb, weil bei den hoch Beschwerdenbelasteten Kontrollpersonen aus der Allgemeinbevölkerung niemand in die Gruppe "Personen mit Somatisierungstendenz" zu zählen war.

Die Zusammenschau der Ergebnisse des Expositionsversuches mit denen des kognitiven Experiments zu den Beschwerden in der Feldphase I spricht dafür, dass auch für subjektiv "elektrosensibel" Personen eine kognitive Beeinflussung ihrer Beschwerden (die ja deutlich vorlagen) möglich sein sollte. Denn die TMS-Experimente haben gezeigt, dass "Elektrosensibel" propriozeptive Empfindungen häufiger irrend als einen externen physikalischen Reiz interpretiert haben als dies verschiedene Populationskontrollgruppen mit unterschiedlicher Beschwerdenlast tun. Der Schlüssel zu den gehäuften Beschwerden liegt somit zumindest bei den untersuchten Personen mutmaßlich im Bereich kognitiver Prozesse. Eine neurophysiologische Grundlage für unterschiedliche kognitive Stile kann gegenwärtig noch nicht em-

⁵ „Mutmaßlich“ muss diese Schlussfolgerung deshalb genannt werden, weil die Ergebnisse ja an Personen der Allgemeinbevölkerung, und nicht spezifisch an subjektiv elektrosensiblen Personen gewonnen wurden.

pirisch abgesichert werden. Für eine solche Behauptung sind die im hiesigen Experiment erstmals gewonnenen Hinweise (Doppelpuls-Verfahren) noch zu wenig abgesichert. Erst weitere, genauere Untersuchungen mit diesem neuartigen diagnostischen Instrumentarium der transkraniellen Magnetstimulation an größeren Stichproben können hier weitere Aufklärung bringen.

Unter pragmatischen Gesichtspunkten kann allerdings schon jetzt gesagt werden, dass ein kognitiv orientierter, verhaltenstherapeutischer Bewältigungsansatz für die mit subjektiver „Elektrosensibilität“ verbundene Beschwerdenlast gegenwärtig diejenige Strategie darstellt, die sowohl in der Literatur die beste Unterstützung aus empirischen Untersuchungen erhält, wie auch mit den Ergebnissen der hier vorgelegten Machbarkeitsstudie am besten übereinstimmen würde.

4.4 Weitere in Feldphase I gewonnene Erkenntnisse für eine mögliche Hauptstudie

In der Projektbeschreibung für die Machbarkeitsstudie St.Sch. 4357 wurden neben den bislang dargestellten Fragestellungen weitere Themenkomplexe angesprochen, die für die Durchführung einer allfälligen Hauptstudie je nach deren Ausgestaltung von Bedeutung sein können. Im Folgenden werden abschließend noch weitere (Neben-)Ergebnisse vornehmlich aus der Durchführung von Feldphase I dargestellt, die für die Planung einer Interventionsstudie zur Verbesserung der von subjektiv elektrosensiblen Personen geäußerten Beschwerden wichtig sein können.

4.4.1 „Wie gewinnt man die Studienteilnehmer?“ “Welche Personen könnten als Kontrollen herangezogen werden?“

Studienteilnehmer einer nachfolgend zu beauftragenden Hauptstudie zu den Möglichkeiten von „Elektrosensibilisierung“ werden mutmaßlich aus Betroffenen bestehen und aus Kontrollpersonen. Es hängt jedoch vom Fokus einer allfälligen Hauptstudie ab, aus welchem Personenkreis die Kontrollgruppe zu gewinnen ist, ob also Populationskontrollen tatsächlich notwendig sind: Studien, die sich der weiteren Klärung der Entstehungsbedingungen des hohen Beschwerdenlevels bei subjektiv elektrosensiblen Personen widmen, werden notwendigerweise Kontrollpersonen aus der Allgemeinbevölkerung in das Design einer solchen Studie aufnehmen. Eine Studie aber, die sich als –wie auch immer angelegte– Interventionsstudie darum bemüht, das Beschwerdenniveau von subjektiv elektrosensiblen Personen durch geeignete Maßnahmen zu verringern, könnte auch eine Kontrollgruppe aus Betroffenen gewinnen, indem die zu setzenden Interventionen randomisiert auf unterschiedliche Personen zugeteilt werden, die alle dieselben Ein- und Ausschlusskriterien erfüllen.

Aus den Erfahrungen der Feldphase I dieser Machbarkeitsstudie ergibt sich, dass durch die gute Zusammenarbeit mit den Meldebehörden in Bayern für universitäre Forschung die Gewinnung von bevölkerungsrepräsentativen Kontrollgruppen kein großes Problem darstellt. Zudem wurden hier mittels Random-Walk Prozeduren weitere Rekrutierungsmechanismen erprobt, die sich als gangbarer Weg für bevölkerungsrepräsentative Aussagen erwiesen haben. Die Repräsentativität der Stichprobenziehung scheint dadurch gewährleistet. Probleme können lediglich auftreten, wenn die Bereitschaft zur *Teilnahme* an einer möglichen Hauptstudie mit einer der interessierenden Zielvariablen verbunden wäre, mithin also einem Selektionsbias in die eine oder andere Richtung unterliegen würde. Die Abschnitte 4.4.2 und 4.5 widmen sich potenziellen Hinweisen auf eine solche statistische Verzerrung und den methodischen Möglichkeiten zur Korrektur.

Die Teilnahmequote an der Feldphase I war zwar im Vergleich zu den von epidemiologischen Fachjournalen geforderten Ausschöpfungsquoten unbefriedigend. Aber insgesamt betrachtet, und insbesondere in Würdigung der finanziellen Ausstattung und des zeitlichen Rahmens dieser Machbarkeitsstudie⁶ – muss die Teilnahmebereitschaft durchaus als zufriedenstellend beurteilt werden. Von den für ein Interview gewonnenen Befragten erklärten sich 78% dazu bereit, auch in einer zweiten Studienphase an einer intensiveren Untersuchung ihres Gesundheitszustandes teilzunehmen. Eine dementsprechende Frage (ohne Geldangebote für die Teilnahme) bildete den Abschluss der Befragung in Feldphase I. Für die Feldphase II wurden schließlich Befragungsteilnehmer aus Feldphase I mit einer besonders geringen EMF-bezogenen Beschwerdenlast (unterste 10 % der Stichprobe) für die TMS-Untersuchung geworben. Die Rekrutierung verlief hier völlig unproblematisch, insbesondere auf die Zusage eines Entgeltes für den Zeitaufwand hin. Die zweite aus der Populationsstichprobe für die Feldphase II anzuwerbende Kontrollgruppe bestand aus Personen, die ein besonders hohes Niveau von EMF-bezogenen Beschwerden für die letzten 30 Tage berichtet hatte (oberste 10 %). In dieser Personengruppe verlief die Rekrutierung für die Feldphase II ungleich schleppender, da die Mitglieder dieser Gruppe oftmals an schweren körperlichen Krankheiten litten, und ihnen oftmals zusätzliche Untersuchungen (zu denjenigen, die im Rahmen der Grunderkrankung zu absolvieren waren) zu belastend erschienen. Geld bot für diese Gruppe kaum einen Anreiz. Erst nach Hinweisen, mit der Teilnahme an der Untersuchung möglicherweise einen Beitrag zur Aufklärung eines bislang unklaren Krankheitsbildes (nämlich „Elektrosensibilität“) leisten zu können, und nach genauer Schilderung der maximal aus der TMS-Untersuchung zu erwartenden Belastungen gelang es den Mitarbeiterinnen der Studie, die Beschwerden-belasteten ProbandInnen für eine Teilnahme zu gewinnen.

Ungleich schwieriger stellte sich die Rekrutierung derjenigen Studienteilnehmer dar, die als Betroffene zu einer Studienteilnahme gewonnen werden sollten. Der in unserem Projekt aufgenommene Kontakt zu verschiedenen Bürgerinitiativen bzw. Selbsthilfegruppen, die sich thematisch um „Elektrosmog“ und „Elektrosensibilität“ gruppierten, verlief ausgesprochen schwierig. Das Interesse der Forscher an einer Klärung möglicher Ursachen für die von Betroffenen erlebten Symptome der „Elektrosensibilität“ wurde von diesen institutionell organisierten Personen äußerst kritisch hinterfragt. Aus der Sicht von Selbsthilfegruppen sind nämlich die Ursachen längst geklärt und liegen in der individuellen Sensibilität begründet (vgl. auch die Ausführungen im Abschnitt 1 dieses Berichtes zu kognitiven Schemata). Sie erfordern insoweit keine weiteren Untersuchungen, die zudem als mit hohem Risiko belastet erlebt werden. Die Forscher wurden manchmal zur Parteinahme für die eigenen Interessen aufgefordert, und als Verbündete einer imaginierten oder tatsächlichen „Gegenseite“ erlebt, deren Interesse beispielsweise der weitere Ausbau von Mobilfunknetzen darstellte. Es wurde vielfach nach dem Auftraggeber der Studie gefragt und geargwöhnt, dass möglicherweise Netzbetreiber hier eine „Pazifizierungsstudie“ in Auftrag gegeben haben könnten.

Im Zusammenhang mit der hier vorgelegten Pilotstudie wurde kein einziger Proband unter den 30 in die Expositionsversuche aufgenommenen „Elektrosensiblen“ aus den Kontakten zu organisierten Betroffenengruppen oder zu Bürgerinitiativen gewonnen. Eine negative Prognose für die Brauchbarkeit dieses Kontaktweges in einer geplanten Hauptstudie kann aber nicht mit Sicherheit gestellt werden: Möglicherweise löst nämlich ein Angebot für eine zukünftige Interventionsstudie (sei es unter dem thematischen Zuschnitt „Elektrosanierung“ oder sei es „kognitive Bewältigungstrainings für Beschwerden“) weniger Ablehnung aus als ein Angebot, „lediglich“ nach den Ursachen für individuelle Beschwerden zu suchen.

⁶ Der Einsatz eines professionellen Meinungsforschungsinstituts hätte den hier eingesetzten Etat um ein Vielfaches überstiegen; zudem wäre die notwendige Schulung der Interviewer im Umgang mit den epidemiologischen Screening-Instrumenten ungleich schwieriger zu realisieren gewesen als bei diplomierten bzw. kurz vor dem Diplom stehenden PsychologInnen bzw. PsychologiestudentInnen.

Zielführender zur Gewinnung von Studienteilnehmern unter von „Elektrosensibilität“ Betroffenen zeigte sich in der hier zu berichtenden Machbarkeitsstudie ein Presseaufruf. Binnen weniger Tage konnten durch Veröffentlichung in einer lokalen Zeitung die angestrebten 30 Versuchspersonen gewonnen werden. Wie oben (vgl. Abschnitt 1.1.3) bereits erwähnt, be-greifen sich in bevölkerungsrepräsentativen Studien zwischen 1,5 % und gut 3 % der Be-völkerung in Schweden bzw. Kalifornien als „elektrosensibel“. Das gezielte Ansprechen ü-ber lokale Medien kann daher auch in einer Hauptstudie als gangbarer Weg zur Rekrutie-rung von Studienteilnehmern erwartet werden. Zudem liegt mit dem hier entwickelten EMF-Fragebogen ein brauchbares Prüfinstrument vor, um den Schweregrad der Beschwerden quantitativ zu vermessen. Damit kann auch ein „staging“ möglicher neuer Studienteilnehmer durchgeführt werden, in dem eine Mindestbelastung mit einer bestimmten Beschwerdezahl vorgegeben wird, um so für den Effektivitätsnachweis künftiger Interventionsstudien güns-tige (d.h. allfällige Verbesserungen maximierende) Studienkollektive zu rekrutieren.

4.4.2 “Wie werden sie informiert, ohne sie – positiv oder negativ – zu beeinflussen?”

Die Frage, ob die Art der Kontaktaufnahme und die Darstellung möglicher Studienziele ei-nen Einfluss auf die von möglichen Studienteilnehmern empfundenen EMF-bezogenen Be-schwerden ausüben kann, wurde anhand der bevölkerungsrepräsentativen Stichprobe der Feldphase I experimentell überprüft. Eine mögliche Einflussnahme kann sich prinzipiell über zwei Mechanismen auf das Antwortverhalten auswirken:

1. Selektions-Bias: Es könnten sich durch unterschiedliche Kontaktaufnahmewege ver-schiedene Personen unterschiedlich stark zur Teilnahme angesprochen fühlen, die auch hinsichtlich des EMF-bezogenen Beschwerden-Niveaus unterschiedliche Aus-prägungen haben.
2. Expectation-Bias: Es können durch die thematische Darstellung des Studienzwe-ckes unterschiedliche Erwartungshaltungen bei den Studienteilnehmern ausgelöst werden, die verschiedene kognitive Stile bei der Beantwortung der gestellten Fragen favorisieren.

Daher müssen bei einer Prüfung möglicher Verzerrungstendenzen sowohl eine potenziell unterschiedliche Rücklaufquote, wie auch nach Ansprachemodus differierende Antwortten-denzen getrennt analysiert werden.

Aus organisatorischen Gründen (Bewältigung des Postausgangs, des Rücklaufs und Koor-dination mit möglichen Zeitfenstern für die zu vereinbarenden Interviews mit den 20 trainier-ten Interviewern) war es notwendig, die Aussendung der Anschreiben an Interview-KandidatInnen in drei getrennten Aussendungswellen im Abstand von jeweils einem Monat durchzuführen. Dieser Umstand wurde genutzt, um drei inhaltlich unterschiedliche Formen der Kontaktaufnahme in ihren möglichen Auswirkungen auf die Zielvariablen (Rücklauf und Ausmaß der berichteten EMF-bezogenen Beschwerden) zu untersuchen. Eine vierte Form der Kontaktaufnahme erfolgte im persönlichen Kontakt (= neuer Kontaktweg, ansonsten Erstkontakt immer über Anschreiben), aber inhaltlich identisch mit einer der schon vorher im Postweg verwendeten Form.

Die Zuteilung der Personen auf die drei Wellen des Anschreibens erfolgte randomisiert. Die Anschreiben an die Mitglieder der Befragungsstichprobe wurden folgendermaßen in der Darstellung des Studienzweckes variiert:

- **Welle 1:** Thema = Umweltbezogene Beschwerden allgemein, ohne Bezug zu Mobilfunk oder lokalen Umweltgegebenheiten, noch keine Darstellung der Studie und ihrer Ziele in den lokalen Medien. (N = 496)
- **Welle 2:** Thema = Umweltbezogene Beschwerden mit Regionalbezug in den Regensburger Stadtvierteln, simultan zur Aussendung Ankündigung der Studie (Schlaf-Schwerpunkt) in der Lokalzeitung, Kopie des Zeitungsartikels im Anschreiben (N = 997)
- **Welle 3:** Thema = Mobilfunk-bezogene Beschwerden, starker Appell an potenzielle Betroffenheit, Kopie des Zeitungsartikels (s. Welle 2) wiederum im Anschreiben (N = 504)
- **RANDOM WALK:** Einführung der Studie wie in Welle 3, allerdings persönlich durch den Interviewer direkt, ohne schriftliche Vorankündigung. Aushändigung der Studiendarstellung (ident zu Welle 3) durch den Interviewer (geschätzte n=218 Zielpersonen in 496 kontaktierten Haushalten).

Der Unterschied zwischen Welle 1 und den nachfolgenden Wegen der Kontaktaufnahme ist vor allem der implizierte Allgemeinheitsgrad möglicher Ursachen für die zu untersuchenden Beschwerden. In Welle 1 wurde im Anschreiben lediglich auf „umweltbezogene Beschwerden“ ohne weitere Spezifikation möglicher Ursachen oder Emittenten hingewiesen. In der Welle 2 wurde (durch die synchrone Darstellung der Studie in der lokalen „Mittelbayerischen Zeitung“) in den Vordergrund gestellt, dass sich die Studie Umwelt bezogenen Beschwerden widmete, die speziell aus den Umweltgegebenheiten der verschiedenen Stadtteile in der Stadt Regensburg möglicherweise entstünden. Der Zeitungsartikel titelte dazu sogar: **„Wo schläft es sich am besten in Regensburg? Universität untersucht Stadtteile“**. Zwar war das Anschreiben der AG Umweltmedizin zwischen Welle 1 und Welle 2 identisch, jedoch wurde in Welle 2 der besagte Zeitungsartikel in das Anschreiben mit hineinkopiert. In der Welle 3 schließlich wurde der Bezug der Studie zu Beschwerden, die möglicherweise von Mobilfunksendemasten hervorgerufen sein könnten, explizit im Anschreiben in den Vordergrund gestellt. Es wurde auch an die angeschriebenen Studienteilnehmer ein dringlicher Appell gerichtet, angesichts der Brisanz des Forschungsproblem (mögliche Gefährdungen durch Mobilfunk frühzeitig entdecken zu können, bzw. unnötige Besorgnis um nicht existierende Gesundheitsgefährdungen vermeiden zu können) sich einer Befragung nicht zu entziehen. Der Gesamtstil des Anschreibens in Welle 3 war sehr viel „reißerischer“ als in den beiden vorausgegangenen Wellen. Ein vierter Kontaktweg zu den Befragten der Feldphase I wurde schließlich über eine direkte Kontaktaufnahme durch die Interviewer (Random-Walk-Prozedur) gesucht. Diese führten die Studie in derselben inhaltlichen Ausrichtung bei den BefragungskandidatInnen ein, wie sie in der Welle 3 schriftlich eingesetzt wurde. Die Interviewer waren in keiner der Wellen informiert über die unterschiedliche Form des Anschreibens.

Ergebnis bei den Teilnahmequoten:

Die (unadjustierten) Rücklaufquoten unterscheiden sich nicht signifikant ($\chi^2 = 3.02$; d.f.=2; p = 0.22) zwischen den verschiedenen Wellen und schwanken zwischen 30,5% und 35,5%. Die um Stichproben-neutrale Ausfälle adjustierte Responserate der aus der Melderegister-Stichprobe rekrutierten ProbandInnen (Subsample 1) kann daher einheitlich über alle Wellen gemeinsam berechnet werden und liegt bei 39,1%. Die (adjustierte) Rücklaufquote der Random-Walk-Stichprobe wurde trotz des stark unterschiedlichen Weges (persönliches Erscheinen der Interviewer an der Wohnungstüre) der Kontaktaufnahme ganz ähnlich bei 37,4% berechnet. Unterschiedliche Formen der thematischen Darstellung einer Befragung über EMF-relevante Symptome haben also –zumindest innerhalb der durch unsere Kontaktvarianten aufgespannten inhaltlichen Bandbreite - keinen nachweisbaren Einfluss auf die Antwortbereitschaft. Eine differenzielle Selektion von Menschen unterschiedlicher Betroffenheitsgrade je nach thematischer Darstellung des Studienzweckes scheint von daher nicht sehr wahrscheinlich, und braucht somit in einer möglichen Hauptstudie nicht schwer-

punktmäßig berücksichtigt zu werden. So überhaupt über Stichprobenselektion Antworten beeinflusst werden, dann scheint dieser Einfluss relativ gering zu sein.

Mit dieser Feststellung kann jedoch noch nicht ausgeschlossen werden, dass unterschiedliche Studiendarstellungen auf anderen Wegen als via selektiver Teilnahme unterschiedlich Betroffener die Studienergebnisse beeinflussen könnten. Insbesondere ist dadurch noch nicht ausgeschlossen, ob nicht der kognitive Kontext, innerhalb dessen die gesamte Befragung stattfindet (und damit auch die eigenen EMF-bezogenen Beschwerden evaluiert werden), sich auf die Zahl und Intensität der Beschwerden auswirkt. Die oben (siehe Abschnitt 4.1 und 4.2) geschilderten Ergebnisse des Befragungsexperimentes geben vielmehr Anlass, auch schon für die unterschiedlichen Wellen des Experimentes mit den unterschiedlichen Studieneinführungen mögliche Unterschiede zu überprüfen.

Ergebnis bei den geäußerten EMF-bezogenen Beschwerden

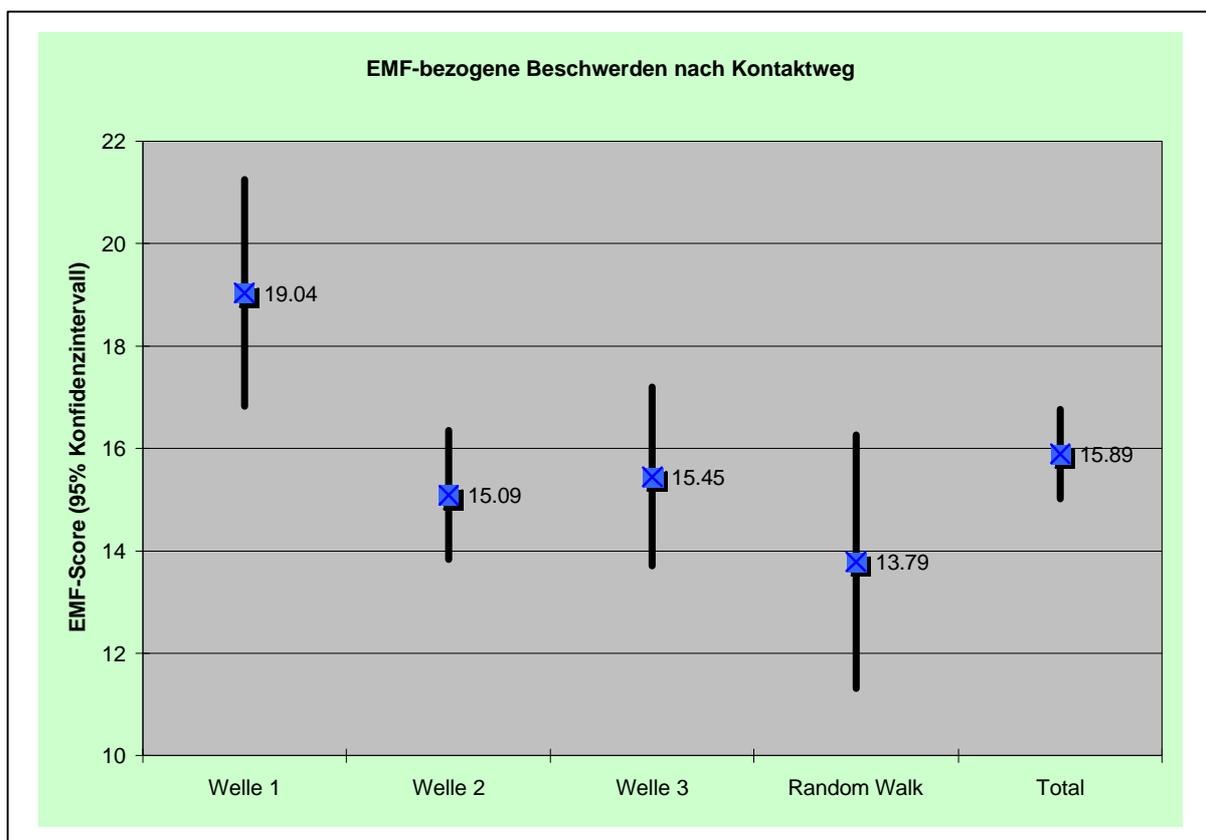


Abbildung 4.2: Beschwerden nach Kontaktweg

Das Hauptzielkriterium der Feldphase I, die EMF-bezogenen Beschwerden, erbrachte zwischen den unterschiedlichen Aussendungswellen die in der Abbildung 4.2 dargestellten mittleren Beschwerdenscores.

Die dargestellten Unterschiede sind varianzanalytisch mit einem F-Wert von 4.46 (d.f. = 3, 713; $p = 0.0041$) statistisch bedeutsam. Die Größe des Unterschiedes entspricht in etwa der Effektgröße, wie sie auch für den Geschlechterunterschied im Beschwerdenniveau zwischen Männern und Frauen beobachtet werden kann. Die ProbandInnen aus der Welle 1 äußerten in der Befragung das höchste Ausmaß EMF-bezogener Beschwerden. Auf den ersten Blick betrachtet scheint damit die allgemein auf Umweltbedingungen formulierte Ausrichtung des Studienzieles ohne Einschränkungen auf bestimmte Ursachen oder Regionen das größte Ausmaß an Beschwerden „zu ernten“. In Welle 2 und 3 bedeutete dann der Bezug auf Stadtteile oder eine bestimmte Emissionsquelle eine Eingrenzung im Beschwer-

denmaß dadurch, dass die Studienteilnehmer solche Beschwerden, für die sie eine andere implizite Attribuierung vornehmen (z.B. „*mein Kopfweh kommt von meiner Arbeitsstelle und hat mit meinem Wohnort nichts zu tun*“) im Interview als irrelevant empfinden und daher nicht äußern. Aus der Umfrageforschung sind solche Effekte unter dem Stichwort „Assimilations- versus Kontrastierungseffekt“ (Schwarz and Bless 1992) gut bekannt und experimentell oftmals nachgewiesen worden.

Eine inhaltliche Interpretation des gemessenen Unterschiedes in diese Richtung muß jedoch mit Zurückhaltung vorgenommen werden. Es ist nämlich zu beachten, dass neben der Variation des Anschreibens und der Studienvorstellung noch andere Bedingungen zwischen den Aussendungswellen variierten, und somit ebenfalls als Quelle des gefundenen Unterschiedes in Frage kommen. Die Zuteilung der zu befragenden Personen auf die drei Wellen (und den Random Walk) erfolgte streng zufällig. Aber im Laufe der Befragungsdurchführung wurden alle nicht antwortenden ProbandInnen der Stichprobe, wenn sie keine explizite Verweigerung der Teilnahme bekundeten, einem standardisierten Nachfass-Prozedere unterzogen, welches über wiederholte Versuche einer telefonischen Kontaktaufnahme und Wiederholungsschreiben bis hin zu Hausbesuchen reichte. Die Intensivierung der Kontaktversuche war bis zur Beendigung der Feldphase I naturgemäß am weitesten fortgeschritten bei all denjenigen ProbandInnen, die zuerst angeschrieben worden waren (also in Welle 1). Obwohl insgesamt keine unterschiedlichen Rücklaufquoten nachgewiesen werden konnten, wäre es vorstellbar, dass im Prinzip die Aussendungsform in Welle 1 wegen ihrer allgemein gehaltenen Formulierung eigentlich am wenigsten Teilnahmebereitschaft bei den angeschriebenen Personen hervorgerufen hat. Durch die länger laufenden Nachfass-Aktionen für diese Substichprobe könnte dieser Effekt dann kompensiert worden sein, aber auf Kosten einer selektiven Gewinnung von mehr Personen, die über ihre eigene Beschwerden-Betroffenheit noch am ehesten bereit waren, der Bitte nach einem Interview über diese Beschwerden nachzukommen. Gegen diese Hypothese spricht allerdings, dass bei einer Missing-Value Analyse (multiple imputation Technik) über das gesamte Studienkollektiv (Responder und Nonresponder des Subsamples 1) ein Zusammenhang zwischen dem Beschwerdenlevel und dem notwendigen Rekrutierungsaufwand für die Probanden im entgegengesetzten Sinne festgestellt wurde. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Abschnitt 4.5 als gesonderter methodischer Exkurs dargestellt (Autor: W. Barta).

4.4.3 „Welche Fallzahlen werden benötigt, um die erforderliche statistische Power zu gewährleisten?“

Die Wirksamkeit von kognitiv-behavioralen Bewältigungstrainings könnte in einer Interventionsstudie mit randomisierter Zuweisung der Probanden in eine spezifisch als Bewältigungstraining konzipierte Maßnahme und eine geeignete Kontrollbedingung (z.B. reine Information der Probanden über Ergebnisse von Expositionsversuchen u.ä. Studien zu EMF-Wirkungen im zeitlich gleichen Umfang) realisiert werden.

Geht man davon aus, dass eine Reduktion der geäußerten 4-Wochen-Prävalenz der Beschwerden um 5 Punkte auf der trichotomisierten Beschwerdenskala (vgl. Abschnitt 2) eine bedeutsame Besserung des Beschwerden-Levels im Sinne des für Heilmittelzulassungsstudien festzulegenden „klinisch relevanten Unterschiedes“ darstellt⁷, dann ist bei einem Ausgangs-Beschwerdenniveau von 20 Punkten⁸ und einer SD⁹ von 10.3 eine Fallzahl von 2*68

⁷ Diese Annahme wurde getroffen aufgrund des empirisch beobachtbaren Unterschiedes zwischen Frauen und Männern in der Allgemeinbevölkerung. Eine Intervention sollte keine kleineren Effekte haben.

⁸ Diese Annahme entspricht dem Mittelwert in der Subgruppe weiblich mit hoher Tendenz zur Somatisierung in der untersuchten Regensburger Bevölkerungsstichprobe.

⁹ Schätzung aufgrund von n=721 vollständigen Symptomantworten.

= 136 Probanden notwendig, um diese Besserung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit 1. Art von 5% und einer statistischen Power von 80 % nachweisen zu können¹⁰. Die Effektgröße von 5 Punkten wurde gewählt, weil sie dem beobachteten Unterschied zwischen Männern und Frauen in der Allgemeinbevölkerung entspricht.

Die Power von 80% wird bei Zulassungsstudien im Allgemeinen als ausreichend erachtet. Wenn anstelle der als Mindesteffekt angenommenen 5 Punkte auf der EMF-Beschwerden-Skala die Intervention einen nur wenig größeren Verbesserungseffekt erzielt, also zum Beispiel 7 Punkte Verbesserung als minimale Effektgröße gelten können, dann kann mit der Fallzahl von 2*68 ProbandInnen dieser Effekt ceteris paribus sogar mit einer Power von 97 % gesichert werden. Rechnet man sehr konservativ damit, dass ein Stichprobenschwund von rund 15 % eintreten könnte (Personen, die ihre Teilnahmebereitschaft zurückziehen, oder Personen, die wegen Umzug oder anderer Ereignisse bei der Schlussuntersuchung nicht mehr erreicht werden können, also „lost to follow-up“ sind), dann erhöht sich die Zahl der zu rekrutierenden StudienteilnehmerInnen auf $136 * (1 / 0.85) = 160$ Personen.

Die Einschlusskriterien erfüllten nach einem Presse-Aufruf in der Stadt Regensburg (Einwohnerzahl ca. 145'000) rund 45 Personen (aus rund 60 Anrufen), die sich spontan zur Studienteilnahme meldeten. Daher kann damit gerechnet werden, dass durch eine Studie in drei teilnehmenden Zentren aus drei größeren Städten, bei denen kognitiv-verhaltensorientierte Bewältigungstrainings angeboten werden können, eine ausreichende Fallzahl erreicht werden kann.

Die vom BfS für die Durchführung einer möglichen Hauptstudie aufgeworfene Frage, durch welche Messungen und Untersuchungen der Erfolg einer solchermaßen intendierten Intervention überprüft werden könne, ergibt sich aus dem psychometrischen Ansatz der Machbarkeitsstudie praktisch von selbst: Die von den Betroffenen empfundene Beschwerdenlast und deren Reduktion im Laufe des Bewältigungstrainings muss als Maßstab für den Erfolg dementsprechender Angebote gelten. Ein dementsprechendes psychometrisch bewährtes Instrument konnte mit der vorliegenden Machbarkeitsstudie vorgelegt werden.

4.4.4 „Welche zeitlichen Abstände zwischen Messungen und Untersuchungen sind akzeptabel?“

Diese Frage zielt auf die zeitliche Stabilität des Beschwerdenlevels von subjektiv elektrosensiblen Personen. Dazu können aus den hier vorgelegten Befunden keine direkten Angaben entnommen werden, weil bei den n=30 via Presseaufruf gewonnenen subjektiv elektrosensiblen Personen die Beschwerden nur zu einem Zeitpunkt, nämlich anlässlich des durchgeführten Wahrnehmungsexperimentes erhoben worden sind.

Die in der Allgemeinbevölkerung von Regensburg erhobenen EMF-bezogenen Beschwerden zeigen allerdings unter den n = 55 Personen, die sowohl in der Erstbefragung in Feldphase I, wie am Tage der Untersuchung im Wahrnehmungsexperiment in Feldphase II zu ihren Beschwerden befragt wurden, eine Retest-Reliabilität von $r = 0.79$ (Variable Trichosum). Der zeitliche Abstand der Befragungen betrug dabei mindestens 2 Monate, maximal rund 10 Monate.

Bei der Erstbefragung wurde ein Erinnerungsfenster von 30 Tagen vorgegeben, für das die Symptome berichtet werden sollten. Bei der Befragung im Wahrnehmungsexperiment war dieses Fenster dagegen nur 7 Tage. Der Wechsel in den Zeitfenstern war gewählt worden, weil für die subjektiv elektrosensiblen Personen ein deutlich höheres Beschwerden-Niveau

¹⁰ Berechnung mit nQuery, rel. 3.0

als für die Allgemeinbevölkerung und eine kurzfristigere zeitliche Fluktuation auf diesen EMF-bezogenen Beschwerden erwartet worden war.

In der Gruppe der Niedrig-Belasteten Personen hat dieser Wechsel des Beobachtungsfensters nur wenig Bedeutung: Denn wenn in 4 Wochen nur wenig Symptome auftreten, dann treten auch in 7 Tagen naturgemäß nur wenig Symptome auf (Delta-Wert = -0.67 Punkte; $P_{\text{(für Delta} \neq 0)} = 0.295$). Bei den Hochbelasteten bedeutet das 7-Tage-Fenster jedoch eine statistisch signifikante Verringerung ($t=4.73$; $p < 0.0001$) des gesamten Beschwerdenlevels um rund vier Punkte zum zweiten Befragungszeitpunkt (Delta-Wert = 4.34). Diese Differenz zwischen den beiden Studiengruppen hat die gemessene Reliabilität zweifelsohne abgesenkt.

Dadurch ist die Retest-Stabilität des Beschwerden-Scores in einer Studiengruppe ohne einen Wechsel im abgefragten Zeitfenster des Symptomreports vermutlich noch deutlich höher. Insgesamt kann von einer hohen zeitlichen Stabilität der Angaben zum Beschwerdenlevel ausgegangen werden, auch über einen Zeitraum von rund einem halben Jahr hinweg.

„Welche Messungen im NF- und HF-Bereich sind nötig, um die Umgebungsfeldstärken der Studienteilnehmer zu ermitteln?“

Dies ist die einzige Frage aus der ursprünglichen Leistungsbeschreibung des BfS zum Projekt St.Sch. 4357, für die aus dem im Angebot eingereichten Programm für diese Machbarkeitsstudie keine empirischen Hinweise gewonnen werden können. Dies entspricht dem Studienangebot, das von vorneherein den Schwerpunkt der Untersuchungen nicht auf die Expositionsbedingungen, sondern auf mögliche dispositionelle Faktoren legte. Für die vorgeschlagene Hauptstudie spielt die Messung der Umgebungsfeldstärken nur eine sehr untergeordnete Rolle, da eine randomisierte Interventionsstudie vorgeschlagen wird, in deren Rahmen möglicherweise unterschiedliche Umgebungsfeldstärken und die von ihnen ausgehenden Einflüsse auf die Zielvariable (Beschwerdenlevel) balanciert wären.

4.5 Methodischer Exkurs: Aussagekraft der untersuchten Stichprobe für die Bevölkerungssituation (Autor: W. Barta)

4.5.1 Einleitung: Nonresponse in epidemiologischen Feldstudien

In der vorliegenden Stichprobe wurde eine Ausschöpfungsquote von 39,1 % (Subsample 1) erreicht. Nicht-Teilnahme (Nonresponse) an der Untersuchung kann zum Einen erfolgen durch „harte Verweigerung“ (der Proband wird angesprochen und verweigert die Teilnahme), zum Anderen durch „Nicht-Erreichen“ (der Proband kann nicht kontaktiert werden: er reagiert nicht auf Anschreiben, ist telefonisch nicht erreichbar, etc.). Entsprechend gibt es verschiedene Strategien, die Ausschöpfungsquote zu erhöhen, etwa eine Bezahlung der Probanden bei Teilnahme, oder Erhöhung der Anzahl Kontaktversuche, bis zur „Aufgabe“ einer Person. Zur vergleichenden Effektivität solcher Maßnahmen für per Post verschickte Fragebögen vgl. Edwards et. al. (Edwards et al 2002). Dennoch wird i.d.R. ein gewisser Anteil von Nicht-Teilnehmern verbleiben. Ein Problem ergibt sich daraus, wenn sich diese Nicht-Teilnehmer (Nonresponder) systematisch von den Teilnehmern (Responder) unterscheiden. Dann kann nämlich nicht mehr ohne Weiteres von den gewonnenen Untersuchungsergebnissen für die Responder auf die Eigenschaften der Grundgesamtheit geschlossen werden. Denn es wäre möglich, dass sich für die Nonresponder ganz andere Ergebnisse ergäben, wenn diese ebenfalls untersucht würden. Die Ergebnisse für die

Responder sind dann nicht mehr repräsentativ für die Grundgesamtheit, sondern verzerrt (*nonresponse bias*).

Je nachdem, wie systematisch der Unterschied zwischen Respondern und Nonrespondern ist, werden verschiedene Typen von Nonresponse unterschieden, (Little and Rubin 1997):

- Die Nonresponder sind eine Zufallsauswahl aus der Gesamt-Stichprobe („Missing Completely at Random“, MCAR).
- Die Nonresponder unterscheiden sich möglicherweise systematisch von den Respondern in der Untersuchungsvariable (hier: Beschwerdenlast), aber die Teilnahmebereitschaft lässt sich aus vorhandenen Informationen vorhersagen und hängt dann nicht zusätzlich von den fehlenden Daten selbst ab („Missing at Random“, MAR).
- Die Teilnahmebereitschaft hängt direkt von der (eventuell fehlenden) Untersuchungsvariable ab und lässt sich nicht aus vorhandenen Informationen vorhersagen („Non-Ignorable“, NI, oder auch „Not Missing at Random“, NMAR).

Vergleiche zu dieser Charakterisierung der drei Typen von Nonresponse King et. al. (King et al 2001). Je nach Art des Nonresponse-Mechanismus ergeben sich unterschiedliche Problemlösungs-Möglichkeiten:

- MCAR: Dies ist der einfachste Fall. Da sich die Nonresponder nicht systematisch von den Respondern unterscheiden, sind die für die Responder gewonnenen Ergebnisse auch repräsentativ für die Grundgesamtheit. Man kann sich also auf die Analyse der Responder-Daten beschränken (Dies ist auch das Standard-Vorgehen der gängigen Statistiksoftware bei fehlenden Daten: *listwise deletion*).
- MAR: Oft sind auch für die Nonresponder bestimmte Informationen verfügbar (hier: Alter, Geschlecht, Wohnort, Dokumentation der Kontaktversuche). Bei MAR kann der Zusammenhang zwischen diesen Zusatzinformationen und der Untersuchungsvariable für die Responder geschätzt und auf die Nonresponder übertragen werden. Für die Nonresponder können so die Werte der Untersuchungsvariable vorhergesagt und anschließend zusammen mit den Responder-Daten analysiert werden (Schafer & Olsen, 1998, S. 552). Man adjustiert so für alle beobachteten Unterschiede zwischen Respondern und Nonrespondern und nimmt an, ev. unbeobachtete Unterschiede wären lediglich unsystematisch, also im Rahmen von Zufallsschwankungen (Rubin, 1987, S. 155).
- NMAR: Dies ist der schwierigste und aufwändigste Fall. Hier muss das Vorgehen typischerweise auf den speziell vorliegenden Fall zugeschnitten werden (*application specific approach*). Der Mechanismus, der zum Fehlen von Daten führt, wird hier üblicherweise getrennt modelliert und dann mit dem Modell für die Untersuchungsvariable zu einem Gesamtmodell kombiniert.

Üblicherweise wird bei kleineren Untersuchungen analysiert, ob sich Responder und Nonresponder in den für alle Probanden vorhandenen Informationen unterscheiden. Ist dies nicht, oder nicht sehr stark der Fall, so wird dann von MCAR ausgegangen. Problematisch dabei ist, dass lediglich eine Verletzung, nicht jedoch das tatsächliche Vorliegen von MCAR empirisch nachgewiesen werden kann. Ein Test auf Vorliegen von MAR oder NMAR ist ebenfalls nicht möglich, da dazu genau die fehlenden Daten benötigt würden ((Schafer and Olsen 1998) S. 552; (King et al 2001) S. 51; (Rubin 1987), S. 155).

Bei großen epidemiologischen Untersuchungen werden dagegen oft *application specific methods* verwendet, die von MAR oder NMAR ausgehen. Wenn deren Annahmen erfüllt sind, so liefern diese korrekte Ergebnisse. Allerdings ist dafür größere Expertise und höherer Zeitaufwand erforderlich. Idealerweise kann auch versucht werden, in einem Follow-up für eine Stichprobe der Nonresponder die Untersuchungsvariable zu erheben (vgl. (Little and Rubin 1997), S. 235). Wird jedoch auch hier keine Ausschöpfung von 100% erreicht,

so ergibt sich wieder das Problem, dass sich die Follow-up Nonresponder von den Follow-up Respondern unterscheiden könnten.

Seit jüngerer Zeit liegt einfach zu bedienende Software vor ((King et al 2001), (Honaker et al 2001), (Schafer 1997), (Schafer 2000), (vanBuuren and Oudshoorn 1999), (vanBuuren and Oudshoorn 2000)), die im Fall von MAR ebenfalls zu korrekten Ergebnisse führt. Da MCAR ein Spezialfall von MAR ist, ist die Annahme von MAR realistischer. Bei vertretbarem Aufwand und geringerer notwendiger Expertise als für NMAR-Methoden lässt sich so eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem weit verbreiteten Vorgehen unter MCAR-Annahme erreichen. Ferner gibt es Hinweise darauf, dass diese MAR-Methoden auch bei Verletzung der MAR-Annahme zu brauchbaren Ergebnisse führen können ((Schafer 1997), S. 27).

In der vorliegenden Untersuchung soll die mittlere Beschwerdenlast in der Bevölkerung ermittelt werden. Dabei interessiert insbesondere auch, ob sich Responder und Nonresponder hinsichtlich dieser Beschwerdenlast unterscheiden. Es soll der Frage nachgegangen werden, ob Personen mit höherer Beschwerdenlast in der Stichprobe möglicherweise überrepräsentiert sind (Betroffenheits-Bias). Für einen solchen *nonresponse bias* soll die ermittelte mittlere Beschwerdenlast in der Bevölkerung ggf. adjustiert werden.

4.5.2 Methode

Stichprobe

Die Beschwerdelast wurde in der oben beschriebenen Stichprobe durch trainierte Interviewer (PsychologInnen, diplomiert oder im Hauptstudium) erhoben. Dabei wurde eine adjustierte Ausschöpfungsquote von 39,1 % erreicht (s. Abschnitt 2.2.1).

Da für den durch Random-Walk gewonnenen Teil der Stichprobe die benötigten Zusatzinformationen (Alter, Geschlecht, Wohnort, Dokumentation der Kontaktversuche) nicht verfügbar sind, wird dieser in die vorliegende Untersuchung nicht mit einbezogen. Von den 2000 Probanden in der repräsentativen Bevölkerungsstichprobe für Regensburg wurden aufgrund eines Programmierfehlers bei der Serienbriefherstellung 3 Probanden gar nicht angeschrieben, für 2 weitere erfolgte keine Dokumentation der Kontaktversuche. Diese 5 Probanden werden als Zufallsauswahl aus der Stichprobe betrachtet und als stichprobenneutrale Ausfälle von der Analyse ausgeschlossen. Von den N=1995 Probanden liegt für 668 die Information zur Beschwerdenlast vor (entspricht 33.5%).

Variablen

Für n=1995 angeschriebene Probanden liegen Alter, Geschlecht, Wohnort und eine genaue Dokumentation der Kontaktversuche vor. Für die Dokumentation der Kontaktversuche wurde festgehalten:

- Welle des Anschreibens [0,1,2]
- Rücksendung der Antwortkarte durch den Probanden [0/1]
- Antwortkarte mit Terminwunsch für Interview [0/1]
- Antwortkarte mit Bitte um telefonischen Kontakt [0/1]
- Proband hat auf Anschreiben hin zurückgerufen [0/1]
- Proband wurde angerufen [0/1]
- Proband telefonisch erreicht? [0/1]
- Nachricht auf Anrufbeantworter des Probanden hinterlassen [0/1]

- Aufsuchen des Probanden zu Hause ohne vorherige Terminvereinbarung [0/1]
- Proband erreicht bei Aufsuchen ohne Termin [0/1]
- Verschicken eines zweiten Anschreibens mit der Bitte um Teilnahme [0/1]
(Verbunden mit der Möglichkeit, eine verkürzte Version des Interviews als Fragebogen auszufüllen und zurückzuschicken.)

Für die verwendeten Verfahren gilt der Grundsatz, dass alle Variablen, die in einer späteren Analyse zusammen mit imputierten Variablen verwendet werden, auch im Imputations-Modell bereits enthalten sein sollen (Schafer & Olsen, 1998, S. 550; King et al., 2001, S. 56). Daher wurden auch weitere erhobene Variablen ins Imputations-Modell aufgenommen, die zwar nicht in der vorliegenden Untersuchung, möglicherweise jedoch zu einem späteren Zeitpunkt gemeinsam mit den Angaben zur Beschwerdenlast analysiert werden sollen. Diese sind ein Schlafstörungs-Score, Depression (0/1) und Restless-Legs Syndrom (0/1).

Da explorative Analysen auf einen möglicherweise kurvilinearen Zusammenhang zwischen Alter und Vorliegen einer Depression hinwiesen, wurde Alter sowohl untransformiert, als auch zusätzlich quadriert ins Modell mit aufgenommen. Der Wohnort der Probanden wurde kategorisiert in neun Abstufungen ins Modell mit aufgenommen. Dazu wurde eine (3 x 3)-Matrix über ein Koordinatensystem des Stadtgebiets gelegt, wobei die Einteilung a priori so gewählt wurde, dass sich eine ungefähr gleiche Zellbesetzung ergab.

Multiple Imputation

Das Grundprinzip von *Multiple Imputation* (Rubin, 1987) bei Annahme von MAR ist, für den einfachen Fall lediglich einer Variable mit fehlenden Werten, das folgende:

- In der Teilstichprobe der Responder wird der Zusammenhang zwischen den vollständig vorhandenen Variablen (hier: Alter, Geschlecht, Wohnort, Kontaktversuche) und der nur bei den Respondern vorhandenen Zielvariable (hier: Beschwerdenlast) mit einem geeigneten Imputations-Modell geschätzt.
- Dieser Zusammenhang kann dann wegen MAR auf die Nonresponder übertragen werden: Für jeden fehlenden Wert der Variable wird eine Zufallsziehung aus der entsprechenden Vorhersage-Verteilung (*predictive distribution*) für diese Variable, gegeben die vollständig vorhandenen Variablen, vorgenommen und anstelle des fehlenden Wertes eingesetzt (imputiert).
- Der so eingesetzte Wert ist als Schätzung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird der Imputations-Vorgang mehrmals durchgeführt. Üblich sind dabei $m=3-10$ Durchgänge, sodass am Ende m vollständige Datensätze ohne fehlende Werte vorliegen. Die ursprünglich vorhandenen Variablen sind in allen diesen Datensätzen gleich, die imputierten Werte unterscheiden sich jedoch: Liefert das Imputations-Modell gute Vorhersagen für die fehlenden Werte (geringe Varianz der Vorhersage-Verteilung), so streuen die Imputationen nur wenig über die m Datensätze, ist die Vorhersage schlechter (größere Varianz der Vorhersage-Verteilung), so streuen sie entsprechend stärker.
- Diese m Datensätze können dann jeweils in gewohnter Weise analysiert werden (hier: Berechnung der mittleren Beschwerdenlast sowie Standardfehler).
- Anschließend werden die gewonnenen Ergebnisse entsprechend einer Formel von Rubin (1987) kombiniert, sodass sich in unserem Fall ein Wert für die mittlere Beschwerdenlast mit entsprechendem Konfidenzintervall (KI) ergibt. Dieser Wert ist dann (unter der Annahme MAR) adjustiert für einen eventuell vorliegenden *non-response bias*, also einer eventuell unterschiedlichen mittleren Beschwerdenlast von Respondern und Nonrespondern.

Modelle

Es werden drei unterschiedliche Verfahren zur Realisierung von Multiple Imputation verwendet. Diese sind implementiert in den Programmen NORM ((Schafer 2000), (Schafer and Olsen 1998), (Schafer 1997)), AMELIA ((Honaker et al 2001), (King et al 2001)) und MICE ((vanBuuren and Oudshoorn 1999), (vanBuuren et al 1999), (vanBuuren and Oudshoorn 2000)). AMELIA und NORM gehen dabei von einer multivariaten Normalverteilung der (vollständigen, also beobachteten zusammen mit den fehlenden) Daten aus. Dabei sind die Verfahren relativ robust gegen Verletzungen dieser Annahme (vgl (King et al 2001) und (Schafer and Olsen 1998), auch für Literaturverweise auf entsprechende Simulationsstudien). Insbesondere empfehlen die Autoren der Verfahren auch für dichotome Variablen die Verwendung des Multivariat Normalen Modells ((Honaker et al 2001), (Schafer and Olsen 1998), S. 550).

Vom Autor von NORM existiert zwar noch weitere Software für Verfahren basierend auf loglinearen Modellen (für kategoriale Variablen) und für das *general location model* (kombiniert ein loglineares Modell für kategoriale mit einer multivariaten „Normal-Regression“ für metrische Variablen). Vgl. dazu Schafer (Schafer 1997), sowie für die Software <http://www.stat.psu.edu/~jls/>. Da diese Software jedoch momentan nur als S-Plus Bibliothek vorliegt, ist sie noch keiner so breiten Allgemeinheit zugänglich, wie NORM, AMELIA und MICE, die jeweils als freie Windows-Standalone-Programme (NORM und AMELIA) bzw. als R- und S-Plus-Bibliothek (NORM und MICE) vorliegen. (Die Statistikumgebung R ist ebenfalls frei erhältlich unter <http://www.r-project.org/>.) Daher wurden diese Verfahren hier nicht berücksichtigt.

Wie für jede statistische Auswertung können (und ggf. sollen) die verwendeten Variablen vor der Analyse geeignet transformiert werden, um der entsprechenden Verteilungsannahme besser zu genügen. Das Programm NORM enthält dafür sogar eine entsprechende Funktion, mit der dies sehr komfortabel möglich ist. Die in NORM und AMELIA verwendeten Verfahren bauen beide auf dem EM-Algorithmus auf. Daher sei dieser hier kurz erläutert.

EM-Algorithmus

Dieser Algorithmus nutzt die gegenseitige Abhängigkeit von fehlenden Werten und Parametern des vollständigen Datenmodells (μ und Σ der multivariaten Normalverteilung der vollständigen Daten): Wären die fehlenden Werte bekannt, so könnten die Parameter des Datenmodells leicht geschätzt werden. Wären umgekehrt die Parameter des Datenmodells bekannt, so könnten die fehlenden Werte leicht geschätzt werden. Daher werden beim EM-Algorithmus unter Annahme bestimmter Datenmodell-Parameter die fehlenden Werte geschätzt und anschließend werden diese geschätzten fehlenden Werte benutzt, um die Datenmodell-Parameter neu zu schätzen. Dieser Vorgang wird iteriert, bis die Folge von Modellparametern konvergiert. Man erhält auf diese Weise Maximum-Likelihood Schätzer der Parameter des Datenmodells bzw. der fehlenden Werte (vgl. zu diesem Absatz: (Schafer and Olsen 1998), S. 553f., sowie zu Details des EM-Algorithmus (Dempster et al 1977)).

NORM

Sowohl NORM, als auch AMELIA benutzen die Schätzungen des EM-Algorithmus als Startpunkte. In NORM wird anschließend Data Augmentation (DA) verwendet. Dabei handelt es sich ebenfalls um einen iterativen Vorgang, der abwechselnd Modellparameter und fehlende Werte, basierend auf dem jeweils anderen, neu schätzt. Allerdings erfolgt dieses wechselseitige Update hier nicht deterministisch, wie beim EM-Algorithmus, sondern stochastisch:

- Imputations-Update: Es werden nicht die bei gegebenen Modellparametern vorhergesagten (ML-)Werte für die Missings eingesetzt, sondern es erfolgt eine Zufallsziehung aus der Posterior-Verteilung dieser Werte.

- Modellparameter-Update: Als neuer Schätzer für die Modellparameter wird nicht der jeweilige ML-Schätzer, gegeben die Imputationen, verwendet, sondern eine Zufallsziehung aus der entsprechenden Posterior-Verteilung.
- Die Folge von Modellparametern konvergiert entsprechend *in Verteilung* gegen die Bayessche Posterior-Verteilung und die Folge von imputierten Werten konvergiert *in Verteilung* gegen die entsprechende Vorhersage-Verteilung. D.h. auch nach Konvergenz des Algorithmus ändern sich die Werte der Modellparameter noch von einer Iteration zur nächsten, lediglich ihre Verteilung ändert sich dann nicht mehr. Daher ist auch die Beurteilung der Konvergenz hier etwas schwieriger, als beim EM-Algorithmus, da sich dort bei Konvergenz die Modellparameter selbst nicht mehr ändern. Zur Beurteilung der Konvergenz können in NORM Zeitreihen der geschätzten Parameter des Datenmodells sowie die Autokorrelationsfunktion jedes Parameters aus dem Programm geplottet werden. Ferner konvergiert DA in der Regel schneller als EM, sodass ein vorheriger Lauf des EM-Algorithmus zusätzlich zu den Startwerten für DA auch wertvolle Information für das Konvergenzverhalten des DA-Algorithmus liefert. Konvergiert DA nach k Iterationen (k genügend groß gewählt), so erhält man durch Verwendung jedes k -ten Parameters in einer Folge von m mal k Durchgängen m unabhängige Ziehungen aus der Vorhersage-Verteilung der fehlenden Werte, und daraus m imputierte Datensätze. Vergleiche zum gesamten Absatz (Schafer and Olsen 1998) (S.554f.), sowie für Details zur Implementierung Schafer (Schafer 1997).

Der Vorteil von DA gegenüber EM liegt darin, dass der EM-Algorithmus nur einzelne Werte für die Imputationen liefert, eben die ML-Schätzungen, nicht jedoch deren ganze Verteilung, wie DA. Deshalb kann bei EM auch lediglich die „fundamentale“ Unsicherheit berücksichtigt werden, also die Tatsache, dass keine perfekte Vorhersage der fehlenden Werte möglich ist (die Residuen des Imputations-Modells sind nicht alle gleich Null). Die Schätzunsicherheit für die Parameter des Imputations-Modells bleibt jedoch unberücksichtigt, was in der Regel zu kleine Standardfehler bzw. zu enge Konfidenzintervalle zur Folge hat (vgl. (King et al 2001), S. 55).

AMELIA

Auch AMELIA benutzt die Schätzungen des EM-Algorithmus aus Ausgangspunkt, verwendet dann aber ein Verfahren namens EMis. Wie DA berücksichtigt auch dieses die Schätzunsicherheit für die Modellparameter bei der Imputation. Das Vorgehen ist wie folgt:

- EM-Algorithmus liefert ML-Schätzer $\hat{\theta} = (\hat{\mu}, \hat{\sigma}_{11}, \dots, \hat{\sigma}_{IJ})$ mit $\hat{\Sigma} = (\hat{\sigma}_{ij})$, $i=1..I$, $j=1..J$
- Berechne die Varianzmatrix $\text{Var}(\hat{\theta})$
- Ziehe ein θ von $N(\hat{\theta}, \text{Var}(\hat{\theta}))$
- Importance Sampling: akzeptiere θ mit Wahrscheinlichkeit $P = \text{„importance ratio“} = L(\theta | D_{\text{obs}}) / N(\theta | \hat{\theta}, \text{Var}(\hat{\theta}))$
= tatsächliche Posterior / Normal Approximation (je bei $\hat{\theta}$, hier ohne priors)
(dabei ist D_{obs} der beobachtete Teil der Daten, also der Teil ohne Missings)
- m -maliges Durchführen liefert m θ 's
- Zufallsziehung aus der entsprechenden Posterior-Verteilung liefert daraus die m imputierten Datensätze

Wie DA bei NORM liefert auch dieses Verfahren Imputationen, die sowohl die Schätzunsicherheit für die Modellparameter, als auch die „fundamentale“ Unsicherheit (das Imputations-Modell passt nicht perfekt auf die Daten) berücksichtigen. Vgl. zu diesem Absatz (King et al 2001), S. 54ff.).

MICE

Ein anderer Weg wird bei dem Programm MICE (vanBuuren and Oudshoorn 1999), (vanBuuren et al 1999), (vanBuuren and Oudshoorn 2000)) beschrieben. Hier ist keine Annahme einer multivariaten Normalverteilung der vollständigen Daten nötig. Der Benutzer gibt für jede Variable mit fehlenden Werten ein Imputations-Modell für diese Variable an (den Typ einer bedingten Verteilung dieser Variable, gegeben alle anderen Variablen), z.B. eine logistische Regression für 0/1-Variablen oder lineare Regression für metrische Variablen. Es ist auch möglich, hier selbst geschriebene Funktionen zu benutzen. (Das Programm liegt als S-Plus und als R-Bibliothek im Quelltext vor.) Es wird angenommen, dass eine entsprechende multivariate Verteilung der vollständigen Daten zu diesen bedingten Verteilungen existiert und dass mit einem Gibbs-Sampler Ziehungen aus dieser gemeinsamen Verteilung der vollständigen Daten erfolgen können. Dieses Vorgehen wird auch *regression switching* oder *variable-by-variable imputation* genannt. Der Fall mehrerer Variablen mit fehlenden Werten wird hier in eine Reihe von univariaten Problemen aufgeteilt, die dann iterativ gelöst werden. Das Vorgehen ist wie folgt:

Seien Y_1, \dots, Y_r Variablen mit fehlenden Werten (als Spaltenvektoren),

$Y = (Y_1, \dots, Y_r)$,

Y_{mis} der Teil von Y mit fehlenden Werten,

Y_{obs} der Teil von Y mit vorhandenen Werten,

$R = (r_{ij})$ $i=1..n, j=1..r$ eine Indikator-Matrix für fehlende Werte

($r_{ij}=1$ falls Y_{ij} vorhanden, $r_{ij}=0$ falls Y_{ij} fehlend),

sowie X eine $(n \times p)$ -Matrix vollständig beobachteter Variablen.

- Ziehe für jedes Element aus Y_{mis} einen zufälligen Wert aus der Randverteilung von Y_{obs} (als Startwert)
 - Gibbs-Sampler (k Iterationen, $k = 20$ genügt meist):
 - Imputiere Y_1 mit Imputations-Modell für Y_1 , geg. Y_2, \dots, Y_r, X
 - Imputiere Y_2 mit Imputations-Modell für Y_2 , geg. Y_1, Y_3, \dots, Y_r, X
 - ...
 - Imputiere Y_r mit Imputations-Modell für Y_r , geg. Y_1, \dots, Y_{r-1}, X
 - Für jede Imputation der Variable Y_j werden dabei die jeweils jüngsten Werte der übrigen Y_1, \dots, Y_r verwendet.
 - Speichere die Imputationen für Y_{mis} nach k Iterationen
- m -maliges Durchführen dieser 3 Schritte liefert m imputierte Datensätze

Unter recht allgemeinen Bedingungen konvergieren die Imputationen des Gibbs-Sampler für Y_{mis} in Verteilung gegen die entsprechende multivariate Posterior-Dichte $p(Y_{\text{mis}} | Y_{\text{obs}}, X, R)$. Zur Konvergenzbeurteilung können Plots der Mittelwerte und Standardabweichungen der m Imputationen über die k Iterationen des Gibbs-Sampler ausgegeben werden. Konvergenz ist dann erreicht, wenn die Varianz zwischen den m Folgen über die Iterationen nicht größer ist, als die Varianz innerhalb jeder der m Folgen. Die Annahme der Existenz einer gemeinsamen Verteilung der Daten zu den postulierten bedingten Verteilungen muss nicht zwangsläufig erfüllt sein: Es gibt Fälle, in denen zu den bedingten Verteilungen $P(Y_1|Y_2)$ und $P(Y_2|Y_1)$ keine gemeinsame Verteilung $P(Y_1, Y_2)$ existiert. Dann kann der Gibbs-Sampler natürlich auch nicht gegen diese (nicht existierende) Verteilung konvergieren, die bedingten Verteilungen sind inkompatibel. Es gibt jedoch einige ermutigende Ergebnisse zu dieser Problematik ((Brand 1999), zitiert nach (vanBuuren et al 1999)).

Wie in den Methoden in NORM und AMELIA wird auch hier sowohl die Unsicherheit verbunden mit der Schätzung der Modellparameter, als auch die „fundamentale“ Unsicherheit aufgrund nicht perfekten Modell-Fits berücksichtigt. Ein Vorteil der Methode von MICE gegenüber den beiden anderen ist, dass keine konkrete Verteilungsannahme für die vollständigen Daten gemacht werden muss, und dass die Imputations-Modelle flexibel und für jede Variable getrennt spezifiziert werden können. Ein Nachteil ist die ungeklärte Kompatibilität der bedingten Verteilungen (Existenz der gemeinsamen Verteilung nicht gesichert). Zur Methode des Gibbs-Sampling vergleiche Gelfand & Smith (Gelfand and Smith 1990).

4.5.3 Ergebnisse

Variable „Zweites Anschreiben“

Die Berücksichtigung der Variable „Verschicken eines zweiten Anschreibens mit der Bitte um Teilnahme“ beim Imputieren der Variable „Depression“ führte bei Benutzung des Programms AMELIA zu einem Artefakt: Bei Verschicken eines zweiten Anschreibens hatten die Probanden die Möglichkeit (und nutzten diese zumeist), eine verkürzte Version des Interviews als Fragebogen auszufüllen. In diesem Fall wurden keine Angaben zur Depression erhoben. Es gibt lediglich drei Probanden, die ein zweites Anschreiben erhielten und für die dennoch Angaben zur Depression vorhanden sind. Die Variable „Zweites Anschreiben“ kann somit kaum verlässliche Information für das Vorliegen einer Depression enthalten. Dennoch führt die Benutzung dieser Variable beim Programm AMELIA zu einer drastischen Änderung der Imputationen für Depression: Probanden mit einem zweiten Anschreiben erhielten im Mittel nur eine Wahrscheinlichkeit von 1% für Depression, Probanden ohne zweites Anschreiben erhielten im Mittel 15%. Das Verfahren gewichtet hier offenbar die vorhandene Information aus den drei Fällen zu stark: In allen drei Fällen mit Angaben zur Depression und einem zweiten Anschreiben liegt keine Depression vor. Gleichzeitig verzehnfacht sich die Zahl nötiger Iterationen (von 40 auf über 400!), was als Indikator für die Instabilität dieses Modells gewertet werden kann.

Beim Programm NORM waren die Auswirkungen weniger drastisch: Die Berücksichtigung der Variable „Zweites Anschreiben“ führte hier zu keiner deutlichen Änderung der geschätzten Depressionswahrscheinlichkeit. Jedoch erhöhte sich auch hier die Zahl nötiger Iterationen stark. Beim Programm MICE ergaben sich keine Auffälligkeiten in Zusammenhang mit dieser Variable. Zur Erhöhung der Stabilität der Modelle wurde die Variable „Zweites Anschreiben“ daher aus den weiteren Analysen mit den Programmen AMELIA und NORM ausgeschlossen. Lediglich mit dem Programm MICE wurden zum Zweck einer Sensitivitätsanalyse sowohl Modelle mit, als auch solche ohne Berücksichtigung dieser Variable geschätzt.

Adjustierte Werte

In der nachfolgenden Tabelle sind die geschätzten Werte für die mittlere Beschwerdenlast nach Multipler Imputation für die verschiedenen Programme und verwendeten Einstellungen zusammengefasst.

SKALA EMF-SUMME (Trichotomisierte-Items)	Mittelwert	95%-Konfidenzintervall
Rohwert (nur Responder)	11.9	11.3-12.5
NORM (gerundet zu nächstem beobachteten Wert, Empfehlung der Autoren)	12.5	11.3-13.6
NORM (nicht gerundet)	12.5	11.3-13.6
AMELIA (gerundet zu nächstem beobachteten Wert)	12.7	12.2-13.1
AMELIA (nicht gerundet, Empfehlung der Autoren)	12.5	11.8-13.2
MICE (Lineare Regression, ohne Variable „2. Anschreiben“)	12.8	11.4-14.2
MICE (Predictive mean matching, ohne Variable „2. Anschreiben“)	12.8	12.0-13.7
MICE (Lineare Regression, mit Variable „2. Anschreiben“)	12.6	11.7-13.5
MICE (Predictive mean matching, mit Variable „2. Anschreiben“)	12.6	11.7-13.6

Tabelle 4.2: Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall für die mittlere Beschwerdenlast. Rohwerte (nur Responder) und adjustierte Werte (inkl. Nonresponder) bei Verwendung verschiedener Programme und unterschiedlicher Optionen für Multiple Imputation.

Die mittlere Beschwerdenlast steigt vom Rohwert von 11.9 (nur Responder) auf Werte zwischen 12.5 und 12.8. Entsprechend verschieben sich auch die Konfidenzintervalle etwas nach oben: von ursprünglich [11.3,12.5] auf Bereiche um [11.3,13.6] bzw. [12.0,13.7]. Dabei variiert die Breite der gelieferten Konfidenzintervalle zwischen den Programmen: Amelia liefert mit Intervallbreiten von 0.9 bzw. 1.4 die engsten Intervalle, NORM mit einer Breite von 2.3 etwas weitere, und MICE mit Breiten zwischen 1.7 und 2.8 ebenfalls etwas weitere Intervalle.

Die zusätzliche Berücksichtigung der Variable „Zweites Anschreiben“ bei zwei Modellen mit dem Programm MICE führte zu einer geringfügigen Änderung der geschätzten mittleren Beschwerdenlast von 12.8 (ohne „Zweites Anschreiben“) auf 12.6 (mit „Zweites Anschreiben“).

Konvergenzbeurteilung

Beim Programm AMELIA ist standardmäßig keine Beurteilung des Konvergenzverhaltens erforderlich. Es sollte lediglich die benötigte Anzahl von Resamplings (vgl. den Abschnitt zu AMELIA) um mindestens drei unter der Anzahl imputierter Datensätze (hier: 10) liegen (vgl. Honacker, 2001, S. 26). Dies war in der vorliegenden Untersuchung der Fall. Beim Programm NORM benötigte der EM-Algorithmus 360 Iterationen um Konvergenz zu erreichen. Daher wurden für den DA-Algorithmus 5000 Iterationen verwendet, wobei alle k=500 Iterationen ein Datensatz imputiert wurde. Die Plots zur Konvergenzbeurteilung gaben keine Anlass zur Sorge. Ein Durchlauf mit 50000 Iterationen (Imputation alle k=5000 Iterationen) bestätigte den positiven Eindruck. Bei MICE wurden 20 Iterationen für den Gibbs-Sampler verwendet. Die Beurteilung der Konvergenzplots war ebenfalls positiv, was von einem Durchlauf mit 50 Iterationen bestätigt wurde.

4.5.4 Diskussion

Insgesamt ergibt sich durch Adjustierung für Nonresponse unter MAR-Annahme eine leichte Erhöhung der mittleren Beschwerdenlast. Diese fällt bei allen verwendeten Programmen und Optionen etwa gleich aus. Lediglich bei den geschätzten Konfidenzintervallen ergeben sich Unterschiede. Diese fallen je nach Programm etwas unterschiedlich weit aus.

Damit gibt es keinen Hinweis auf eine erhöhte *self selection* Betroffener in die Stichprobe. Im Gegenteil, diese scheinen in der vorhandenen Stichprobe sogar eher leicht unterrepräsentiert zu sein, da sich bei einer entsprechenden Adjustierung sogar eine geringfügige Erhöhung der geschätzten mittleren Beschwerdenlast ergibt. Dieser Unterschied ist jedoch nur im Fall AMELIA mit Runden (KI 12.2-13.1) statistisch signifikant.

Dass es hinsichtlich des geschätzten Wertes für die mittlere Beschwerdenlast kaum Unterschiede zwischen den verwendeten Programmen gibt, obwohl diese verschiedene Modelle und unterschiedliche Algorithmen zu deren Schätzung verwenden, erhöht das Vertrauen in die vorliegenden Ergebnisse. Unter Annahme von MAR gelangt man auf verschiedenen Wegen für eine Nonresponse-Adjustierung zu etwa gleichen Resultaten.

Natürlich ist denkbar, dass im vorliegenden Datensatz die MAR-Annahme verletzt ist, und die tatsächlichen Werte sich von den hier ermittelten deutlich unterscheiden. Wie oben ausgeführt, ist das Vorliegen von MAR mit den vorhandenen Daten leider nicht testbar. Jedoch ergibt sich durch die hier berichtete Analyse eine deutliche Verbesserung gegenüber einer Analyse lediglich der Daten der Responder, da eine solche, wie oben ausgeführt, nur bei Vorliegen der strengeren MCAR-Annahme zu korrekten Ergebnissen führt. Es wurde hier für beobachtete Unterschiede zwischen Respondern und Nonrespondern adjustiert, und lediglich die verbleibenden Unterschiede werden als zufällig betrachtet. Die Brauchbarkeit der vorliegenden Ergebnisse wird weiter dadurch erhöht, dass Analysen unter MAR-Annahme möglicherweise auch bei Verletzung dieser Annahme zu brauchbaren Ergebnissen führen können ((Schafer 1997), S. 27).

5. Folgerungen für die Fragestellungen der Machbarkeitsstudie (“Welche ‘Sanierungskonzepte’ sind denkbar bzw. möglich?”)

Der gewählte psychometrische Zugang zum Problemfeld der Diagnostik von “Elektrosensibilität” hat sich durch die Kombination mit neurologisch-apparativer Diagnostik in mehrfacher Hinsicht als fruchtbar erwiesen. Zum einen ermöglichte er die Einbettung des historisch relativ neuen Phänomens von EMF-bezogenen Beschwerden in einen schon bestehenden Forschungszusammenhang zu ähnlich gelagerten Beschwerdebildern. EMF-bezogene Beschwerden sind in der Bevölkerung breit vorhanden und sollten in weiteren Untersuchungen auf ihre Übereinstimmung mit dem in früheren epidemiologischen Untersuchungen benutzten Konzept der Demoralisierung überprüft werden.

Das Ausmaß an EMF-bezogenen Beschwerden lässt sich quantitativ ziemlich genau mit der hier vorgelegten Symptomliste bestimmen und mit einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe vergleichen. Dies kann zur individuellen Diagnostik via Einstufung der Beschwerdelast als Prozentrang in der Allgemeinbevölkerung ebenso genutzt werden wie zur epidemiologisch orientierten Untersuchung von räumlichen / sozialen o.ä. Beschwerdenclustern.

Aus der Feldphase II wurde erkennbar, dass das Ausmaß der geäußerten EMF-bezogenen Beschwerden nicht zusammenhängt mit der objektiv gemessenen Fähigkeit, Magnetimpulse von simulierten Impulsen auseinander zu kennen. Die bestehende Selbstwahrnehmung einer erhöhten Sensitivität (sensu Müller, vgl. Abschnitt 1) als verursachender Grund für die geäußerten Beschwerden ist somit zumindest bei den 30 Personen, die in dieser Studie zur Untersuchung ihrer Wahrnehmungs- und Reaktionsschwellen bereit waren, objektiv unrichtig. Ob die im Experiment gemessene größere Neigung der hier untersuchten „Elektrosensiblen“, propriozeptive Reize mit externen Reizen zu „verwechseln“, eine neurophysiologische Grundlage im Sinne einer veränderten kortikalen Exzitabilität hat, kann derzeit noch nicht abschließend behauptet werden. Da mit der vorliegenden Studie wissenschaftliches Neuland betreten wurde, sind Replikationsstudien zur weiteren Abklärung dieser Befunde notwendig.

Aus den hier vorgelegten Befunden lassen sich keine „Sanierungskonzepte“ im Sinne von physikalisch-technischer Umgestaltung der exponierenden Umgebung von subjektiv „elektrosensiblen“ Personen vorschlagen. Das Wort „Sanierungskonzept“ inkludiert bereits, dass Expositionsbedingungen die Ursache für geäußerte Beschwerden wären. Es konnte in den Expositionsversuchen hinsichtlich der im Kapitel 3 formulierten Bedingungen klar widerlegt werden, dass eine höhere Sensitivität gegenüber magnetischen Impulsen die mögliche Ursache der empfundenen Beschwerden darstellen könnte. Anstelle nun aber nach leicht oder stärker abgewandelten exponierenden Konstellationen von physikalischen Umweltbedingungen zu suchen, die möglicherweise doch wirksam für Beschwerden sein könnten, - eine Suche, die zweifelsohne notwendig ist, aber im Prinzip nie zu Ende gehen wird¹¹, wurde hier im weiteren Studienverlauf der Blick auf mögliche Dispositionsbedingungen gerichtet, die für die bei Elektrosensiblen vorliegende, verstärkte Wahrnehmung von körperlichen Beschwerden entscheidend sein könnten. Daher sollte auch für aus diesen Ergebnissen abzuleitende Konsequenzen der Terminus „Interventionskonzepte“ verwendet werden, da nicht eine „Sanierung“ der betroffenen Personen vorgeschlagen wird, sondern eher „Bewältigungsmöglichkeiten“ für spezielle disponierende Faktoren in Studien dieses Zuschnitts gesucht werden.

¹¹ Die Aufgabe, solch ein Monitoring der neuen physikalisch-technischen Gegebenheiten in der Auswirkung auf den Menschen zu führen, hat das junge Fachgebiet „Technikfolgenabschätzung“.

Hinsichtlich vorzuschlagender Interventionskonzepte für die Verbesserung der Beschwerden von „elektrosensiblen“ Personen lassen sich aus den vorgelegten Ergebnissen zwei Folgerungen ziehen:

- 1) Mit der Untersuchung von subjektiven Wahrnehmungsschwellen, objektiven Reaktionsschwellen, und kortikaler Exzitabilität konnte ein diagnostisches Instrumentarium entwickelt werden, welches für die Diagnostik der Beschwerden von „Elektrosensiblen“ eine hervorragende Basis zur Abklärung bietet. Das Ausmaß der Beschwerden kann anhand der Daten einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe einer deutschen Großstadt normiert werden. Die subjektive Kausalattribution auf elektromagnetische Felder kann mit einer objektiven und ungefährlichen Prüfmethode objektiviert werden. Damit wird ein diagnostischer Einstieg möglich, der eine von Betroffenen vielfach gefürchtete „Psychiatisierung“ ihres Beschwerdebildes vermeidet, und der künftig möglicherweise sogar eine neurophysiologische Grundlage des veränderten Erlebens von Umweltreizen mit entschlüsseln hilft.

Wünschenswert für nachfolgende Studien bleibt es, die unterschiedlichen Differenzierungsfähigkeiten zwischen Sham- und Verursacher (= die gemessenen Schwellenabstände) in ihrer möglichen Abhängigkeit von Lernbedingungen (z.B. Reihenfolge-Effekt in Abschnitt 3.5.2), Persönlichkeitsvariablen, genetischen Dispositionsfaktoren und aktuellen medizinischen Bedingungen (z.B. Medikationseffekte) zu überprüfen.

- 2) Bei Personen, die möglicherweise schon ein stabiles „kognitives Schema“ ihrer besonderen Vulnerabilität gegenüber EMF entwickelt haben, kann über die apparative Diagnostik ein Einstieg in individuelle Bewältigungstechniken für ihre „veränderte kortikale Exzitabilität“ vorgeschlagen werden, ohne dass die kognitiv-verhaltenstherapeutischen Maßnahmen von den Betroffenen als Stigmatisierung im Sinne eines „Sie bilden sich das alles doch nur ein!“ erlebt werden müssten.

Kognitiv-verhaltenstherapeutische Maßnahmen **nach** einer gründlichen Diagnostik von somatischen wie psychiatrischen Krankheiten (vgl. (Podoll et al 2002) zur Möglichkeit von Psychosen bei Umweltängsten) erscheinen zum gegenwärtigen Wissensstand als der sinnvollste Weg, mit den Beschwerden von subjektiv „elektrosensiblen“ Personen aus medizinischer Sicht umzugehen. Es mangelt in der gegenwärtigen Situation allerdings an einem diagnostischen Instrumentarium, um die vermuteten kognitiven Schemata hinsichtlich ihrer Intensität und Veränderungsresistenz beurteilen zu können. Daher wäre es sinnvoll, in weiteren Studien einen Fragebogen dysfunktionaler Kognitionen für den Zusammenhang zwischen erlebten Beschwerden und Umweltexpositionen zu konzipieren und psychometrisch zu validieren. Analoge Messinstrumente wurden bislang im Bereich der Forschung zu Posttraumatischen Belastungsstörungen (Dunmore et al., 2001), oder zu Essstörungen (Bonifazi et al., 2000) entwickelt.

Die Messung dysfunktionaler Kognitionen mit konkretem Bezug zur Exposition an Elektrosmog könnte ermöglichen, die Chronifizierung der Attribution von erlebten Beschwerden auf Umweltbedingungen (vgl. Harlacher & Schahn, 1998) als sogenanntes „kognitives Schema“ zu quantifizieren. Dieses Maß wäre einerseits nützlich als potenzielles Zielkriterium für kognitiv-behaviorale Interventionen zur Bewältigung der Beschwerden. Andererseits könnte dadurch ein möglicher Karriereverlauf im Sinne einer Chronifizierung der „Elektrosensibilität“ vermessen werden und differentielle Diagnostik- und Therapiemaßnahmen davon gesteuert werden.

5.1 Studiendesign einer möglichen Hauptstudie

Die vorgeschlagene Interventionsstudie könnte als Design eine randomisierte, multizentrische Vergleichsstudie benutzen, welches in der Experimentalgruppe ein noch im Detail zu manualisierendes kognitives Bewältigungstraining für die bestehenden Beschwerden von subjektiv elektrosensiblen Personen anbietet. Die Intervention gründet sich auch auf die individuell gemessenen Schwellen der singulären transkranialen Magnetimpulse und gibt den Probanden auch Auskunft über ihre gemessene kortikale Exzitabilität. In den übrigen Prinzipien richtet sie sich nach den bei Harlacher & Schahn (1998) bzw. Hillert et al. (1998) dokumentierten Prinzipien. Die Intervention wird in 20 Wochen in jeweils einstündigen Sitzungen vorgeschlagen.

Die Kontrollbedingung besteht in der zeitgleichen Information der ProbandInnen über die physikalischen Grundlagen von elektromagnetischer Strahlung und über die Bedeutung der in der Baseline-Phase erhobenen biologischen Befunde zur Schwellenwahrnehmung und zur kortikalen Exzitabilität. Es wird jedoch keine spezifische Intervention zur Bearbeitung der individuellen dysfunktionalen Kognitionen angeboten. Unspezifische Gesprächsangebote zur allgemeinen Lebensbewältigung sind jedoch zugelassen.

Nach dem Ende der 20-wöchigen Interventionsphase wird eine Follow-Up Untersuchung nach weiteren 5-6 Monaten vorgeschlagen. Der zeitliche Ablauf ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

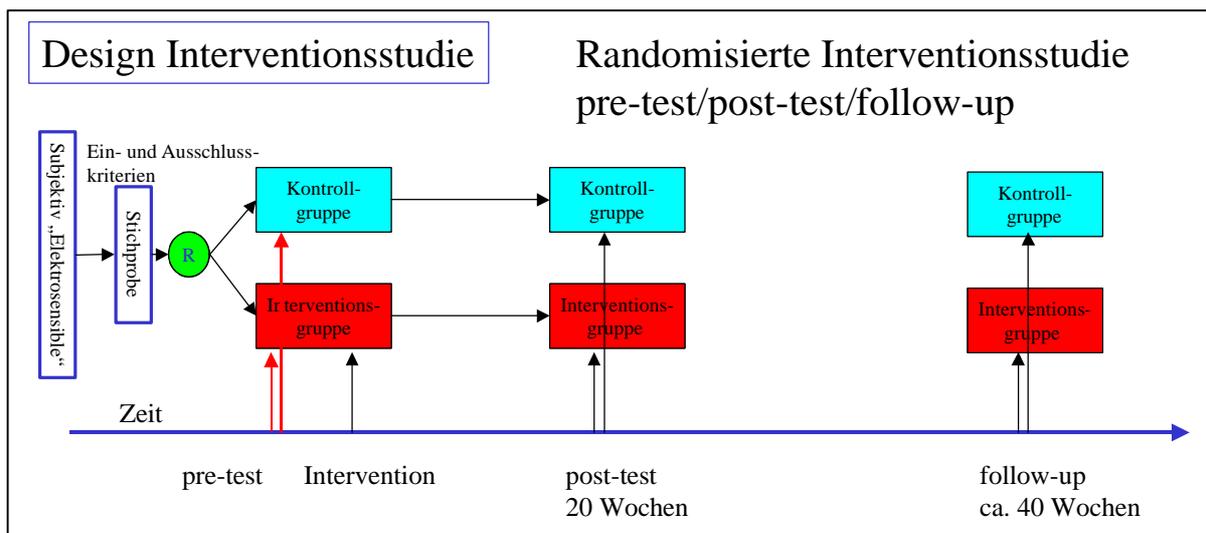


Abbildung 5.1 Interventionsdesign einer Hauptstudie

Die inhaltlichen Bausteine eines solchen Designs sind gemeinsam mit dem möglichen zeitlichen Ablauf, einem Personaleinsatzplan, und möglichen Meilensteinen zum Projekt-Monitoring in der nachfolgenden Tabelle 5.1 aufgeschlüsselt. Es wird dabei angenommen, dass in drei unterschiedlichen Zentren das Bewältigungstraining durchgeführt werden kann, um im vorgesehenen Zeitraum von 24 Monaten die erforderliche Fallzahl von $n=160$ ProbandInnen zu erreichen. Die Interventionen erfolgen in zwei zeitlich nacheinander liegenden Blöcken à 80 ProbandInnen (von denen jeweils stratifiziert nach Zentren, Geschlecht, und noch zu definierenden medizinischen Konfundervariablen die Hälfte in der Experimentalgruppe und die Hälfte in der Kontrollgruppe angesiedelt wird). Die Begrenzung auf drei Zentren und zeitliche Streckung der Studiendauer wurde deshalb vorgeschlagen, weil die Koordination zwischen drei Zentren leichter ist als über die theoretisch möglichen sechs Zentren hinweg. Zudem ist es auch einfacher, das Interventionskonzept nur zwischen drei Zentren zu standardisieren.

Bei sechs Zentren wären trotz Manualisierung der Therapie realistischerweise mehr überlagernde Einflüsse durch die höhere Anzahl der eingesetzten Therapeuten zu erwarten. Die Vorbereitung des Therapiemanuals erfolgt dabei in einem sogenannten „Master-Zentrum“, das auch die Federführung für die Durchführung der Begleituntersuchung und der medizinischen Tests haben sollte. In diesem Master-Zentrum sind auch die übrigen Stellen der SozialwissenschaftlerIn, MedizinerIn und DokumentarIn anzusiedeln.

Multizentrische Interventionsstudie "Elektrosensible": Arbeitsplan und Personaleinsatzplan (Jahr 1)												
Arbeitsschritt(e)	Interventionskonzept: Manualisierung											
	Rekrutierung Studienteilnehmer: Screening EAK											
		Baseline Messung								post-test Messung		
		Baseline Messung								post-test Messung		
	Training TMS								Baseline Messung			
					Interventionsphase Gruppen A/B : 80 Patienten a 20 Wochen				Interventionsphase II: Gruppen C / D			
					Data Management					Data Management		
		Vorbereitung Info-Materialien für Kontrollgruppe										
Master-Therapeut Zentrum 1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Therapeut Zentrum 2			50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Therapeut Zentrum 3			50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Sozialwissenschaftler			100%	100%	100%			100%	100%	100%		
Mediziner	50%	75%	100%	100%				100%	100%	25%		
Dokumentar	50%	50%	100%	100%	100%			100%	100%	100%		
Meilenstein				Therapie-Manual		Baseline-Daten						
Zeitachse / Monat:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Tab. 5.1a: Arbeitsplan im ersten Studienjahr

Im ersten Studienjahr sollen nach der Erstellung des detaillierten Therapiekonzeptes und den notwendigen Vorbereitungen in der Erhebungs-Infrastruktur in den Monaten 5 bis 10 mit den ersten n=80 ProbandInnen in den beiden Gruppen Intervention und Kontrolle jeweils 20 Sitzungen lang deren individuelle Beschwerden bearbeitet werden. Um die Therapeuten von den aufwändigen Messungen zu entlasten, wird vorgeschla-

Im zweiten Studienjahr durchläuft die zweite Hälfte der ProbandInnen das Bewältigungstraining bzw. die Kontrollbedingung, und es werden die Follow-up Untersuchungen durchgeführt. Die Auswertung der Interventionsstudie findet am sogenannten „Master-Zentrum“ statt.

Im obigen Arbeitsplan sind insgesamt folgende Personalkosten vorgesehen, die sich nach BAT-Sätzen wie folgt in Studienkosten kalkulieren lassen (Ansätze aus 2002):

	Stellenprozent	BAT	Jahresgehalt	Studienkosten
			EUR	
Therapeuten	4170%	II	61500	213 712.50
Soz.Wiss.	1500%	II	61500	76 875.00
Mediziner	675%	II	61500	34 593.75
Dokumentar	1600%	IV	42000	56 000.00
		Personalkosten		381 181.25

Die Sachkosten einer solchen Interventionsstudie hängen sehr stark davon ab, inwieweit die Infrastruktur zu einer TMS für diagnostische Zwecke im vorgesehenen Master-Zentrum vorhanden ist. Es wurde davon ausgegangen, dass ein Magstim-Gerät dort existiert, und die Infrastruktur zur Doppelpuls-Messung ebenfalls. Leasing-Preise (unverbindliche Schätzungen des Herstellers) wurden eingesetzt, um die ProbandInnen in den beiden kooperierenden Zentren zur Baseline messen zu können. Die Koordination der drei Zentren beinhaltet die kontinuierliche Standardisierung der durchgeführten Interventionen mit regelmässiger peer-Supervision der TherapeutInnen. Je nach Ausgestaltung des Therapiemanuals und Erhebung von weiteren potenziellen Konfunder-Variablen sind zu den nachfolgenden Sachkosten noch Lizenzgebühren hinzu zu zählen. Die Sachkosten können insgesamt nur als sehr vorläufige Schätzung verstanden werden.

Leasing Magstim / Doppelpuls	40 000.00
Fahrkosten Follow-up	8 000.00
Druck Fragebogen etc.	2 000.00
Betriebsmittel	4 000.00
Koordination 3 Zentren	7 000.00
Fahrtkosten Salzgitter	4 000.00
Doppelpuls-Software	12 000.00
Sham-Spule	2 000.00
Summe Sachkosten	79 000.00

Ein erste Kostenabschätzung der Gesamtkosten einer randomisierten Interventionsstudie beläuft sich also auf insgesamt

460.182 €.

5.2 Literatur zu den Kapiteln 4 und 5

- Andersson B, Berg M, Arnetz B, Melin L, Langlet I, Lidén S (1996): A cognitive-behavioral treatment of patients suffering from "electric hypersensitivity": subjective effects and reactions in a double-blind provocation study. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 38:752-758.
- Bonifazi DZ, Crowther JH, Mizes JS (2000) Validity of questionnaires for assessing dysfunctional cognitions in bulimia nervosa. *Int J Eat Disord*, 27:4, 464-470.
- Brand J (1999): Development, implementation and evaluation of multiple imputation strategies for the statistical analysis of incomplete data sets, *TNO Prävention und Gesundheit*. Rotterdam: University of Rotterdam.
- Dempster AP, Laird NM, Rubin DB (1977): Maximum likelihood estimation from incomplete data via the EM algorithm (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society Series B* 39:1-38.
- Dunmore E, Clark DM, Ehlers A (2000) A prospective investigation of the role of cognitive factors in persistent Posttraumatic Stress Disorder (PTSD) after physical or sexual assault. *Behaviour Research and Therapy*, 39, 1063-1084.
- Edwards P, Roberts I, Clarke M, et al (2002): Increasing response rates to postal questionnaires: systematic review. *British Medical Journal* 324:1183-1185.
- Frick U, Rehm J, Eichhammer P (2002): Risk perception, Somatization, and Self Report of Complaints Related to Electromagnetic Fields - A Randomized Survey Study. *Intern J Hygien Environ Health* 205:353-360.
- Gelfand AE, Smith AFM (1990): Sampling-based approaches to calculating marginal densities. *Journal of the American Statistical Association* 85:398-409.
- Harlacher U, Schahn J (1998): "Elektrosensitivität" - ein psychologisches Problem? In Kals E (ed), *Umwelt und Gesundheit. Die Verbindung ökologischer und gesundheitlicher Ansätze*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, pp 151-196.
- Hillert L, Kolmodin Hedman B, Dölling BF, Arnetz BB (1998): Cognitive behavioural therapy for patients with electric sensitivity - a multidisciplinary approach in a controlled study. *Psychother Psychosom* 67:302-310.
- Honaker J, Joseph A, King G, Scheve K, Singh N (2001): Amelia: A Program for Missing Data (Windows version). Cambridge, MA: Harvard University. (<http://gking.harvard.edu>)
- King G, Honacker J, Joseph A, Scheve K (2001): Analyzing Incomplete Political Science Data: An Alternative Algorithm for Multiple Imputation. *American Political Science Review* 95:49-69. (<http://gking.harvard.edu>)
- Little RJA, Rubin DB (1997): *Statistical Analysis with Missing Data*. New York: J. Wiley & Sons.
- MacGregor D, Slovic P, Morgan M (1994): Perception of risks from electromagnetic fields: a psychometric evaluation of a risk-communication approach. *Risk Anal* 14:815-828.
- MacGregor DG, Fleming R (1996): Risk perception and symptom reporting. *Risk Analysis* 16:773-783.
- Podoll K, Müller-Küppers M, Kunert HJ, Ebel H, Schulze-Röbbecke R, Wiesmüller GA (2002): Umwelttoxnen als Wahnthema bei psychotischen Störungen. *Nervenarzt* 73:S63.
- Rubin DB (1987): *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys*. New York: J. Wileys & Sons.
- Schafer JL (1997): *Analysis of Incomplete Multivariate Data*. London: Chapman & Hall.
- Schafer JL (2000): NORM: Multiple Imputation of Incomplete Multivariate Data under a Normal Model. Software for Windows 95/98/NT, Version 2.03 ed: Pennsylvania State University. (<http://www.stat.psu.edu/~jls/>)
- Schafer JL, Olsen MK (1998): Multiple Imputation for Multivariate Missing-Data Problems: A Data Analyst's Perspective. *Multivariate Behavioral Research* 33:545-571.
- Schwarz N, Bless H (1992): Constructing reality and its alternatives: Assimilation and contrast effects in social judgment. In Tesser LLMA (ed), *The construction of social judgment*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp 217-245.
- Slovic P (1987): Perception of risk. *Science* 236.
- vanBuuren S, Boshuizen HC, Knook DL (1999): Multiple Imputation of Missing Blood Pressure Covariates in Survival Analysis. *Statistics in Medicine* 18:681-694.
- vanBuuren S, Oudshoorn CGM (1999): Flexible multivariate imputation by MICE. TNO Prevention and Health. Leiden, NL: University of Leiden.
- vanBuuren S, Oudshoorn CGM (2000): Multivariate Imputation by Chained Equations - MICE V1.0 User's manual. Leiden: TNO Prevention and Health.