

Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen (Quebeb)

Projektabschlussbericht

22. Mai 2007

Dr. Gabriele Berg, Dr. Jürgen Breckenkamp,
Dr. Bernd Kowall, Jörg Riedel
Fakultät für Gesundheitswissenschaften
AG3 -Epidemiologie und International
Public Health
Universität Bielefeld

Dr. Brigitte Schlehofer
Prof. Dr. Jürgen Wahrendorf
AG Umweltepidemiologie
Deutsches Krebsforschungszentrum
Heidelberg

Dr. Joachim Schüz
Department of Biostatistics and Epidemiology
Institute of Cancer Epidemiology
Denmark

Kooperation mit:
Dr. Christian Bornkessel
IMST GmbH
Prüfzentrum EMV
Kamp-Lintfort

Prof. Dr. Maria Blettner, PD. Dr. Joachim
Schüz, Sven Schmiedel
Institut für Medizinische Biometrie,
Epidemiologie und Informatik
Universität Mainz

Dr. Peter Potthoff, Ernst Schroeder,
Ursula Reis, Claudia Barthold
TNS-HEALTHCARE
München

Kooperation mit:
Dr. H.-Peter Neitzke
Ecolog-Institut
Hannover

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

Inhaltsverzeichnis

<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>v</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>vii</i>
<i>Verwendete Abkürzungen</i>	<i>xi</i>
<i>Begriffsdefinitionen</i>	<i>xii</i>
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	5
2.1 Literaturübersicht	6
2.1.1 Einfluss der Nutzung von Mobilfunktelefonen auf die Hirnaktivität	6
2.1.2 Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen auf die kognitiven Fähigkeiten	10
2.1.3 Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen auf selbst berichtete gesundheitliche Beschwerden	10
2.1.4 Einfluss der HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen auf selbst berichtete gesundheitliche Beschwerden	10
2.1.5 „Subjektive“ und „objektive“ Umweltbedingungen als Determinanten von Beschwerden	13
2.2 Fragestellung	16
2.3 Design	17
3 Bericht zur Phase I	19
4 Bericht zur Phase II – Basiserhebung	21
4.1 Ziele der Basiserhebung	21
4.2 Design	21
4.3 Material und Methoden	23
4.3.1 Haushaltspanel	23
4.3.1.1 Grundgesamtheit und Stichprobe.....	23
4.3.1.2 Stichprobenstruktur, Beteiligungsraten und Non-Responder-Analysen.....	23
4.3.1.3 Fragebogen.....	26
4.3.1.4 Datenverarbeitung	27
4.3.2 Datenbank der Bundesnetzagentur.....	27
4.3.3 Geokodierung.....	28
4.3.3.1 Daten der Post Direkt GmbH.....	30
4.3.3.2 Daten der Bundesnetzagentur	31
4.3.3.3 Koordinatentransformation mittels der Software Transdat.....	31
4.3.3.4 Georeferenzierungen des Landesvermessungsamtes NRW.....	32
4.3.3.5 Validierungsstudie zu Geokoordinaten	33
4.3.3.6 Zusammenfassung.....	37
4.3.4 Verknüpfung mit dem Projekt des ECOLOG-Instituts	38
4.3.4.1 Grundlagen für das Expositionsmodell.....	39
4.3.4.2 Interne Qualitätsprüfung	40
4.3.4.3 Anwendung des Expositionsmaßes auf die Basiserhebung	43
4.3.5 Statistische Auswertungen	43
4.3.5.1 Mit welchen Faktoren sind die Bedenken wegen Sendeanlagen assoziiert?	44
4.3.5.2 Mit welchen Faktoren ist der Beschwerdenscore assoziiert?	46
4.4 Ergebnisse	47
4.4.1 Haushaltspanel	47

4.4.1.1	Deskriptive Auswertungen zu den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen	47
4.4.1.2	Multiple Auswertung zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen	54
4.4.1.3	Deskriptive Auswertungen zum Beschwerdenscore	57
4.4.1.4	Multiple Auswertung zum Beschwerdenscore	63
4.4.1.5	Logistische Regressionen mit Einzelbeschwerden als Zielvariablen	65
4.4.2	Mobilfunksendeanlagen	68
4.4.3	Ergebnisse der verlinkten Daten (Basiserhebung und Datenbank der Bundesnetzagentur)	70
4.4.3.1	Entfernung zwischen Haushalt und Mobilfunksendeanlage	70
4.4.3.2	Anwendung des Expositionsmaßes auf die Basiserhebung	80
4.5	Diskussion	84
5	<i>Bericht zu Phase III – Vertiefungserhebung und Ergänzungsstudie</i>	89
5.1	Zielstellung	89
5.2	Design	89
5.3	Material und Methoden	91
5.3.1	Feldbericht	91
5.3.1.1	Vertiefungserhebung	91
5.3.1.2	Ergänzungserhebung	94
5.3.2	Qualitätsbericht Dosimeter	99
5.3.2.1	Zielsetzung	99
5.3.2.2	Messkonzept	99
5.3.2.3	Ergebnisse	106
5.3.3	Datenmanagement	114
5.3.3.1	Die Messdaten	114
5.3.3.2	Die CAPI- Daten	116
5.3.3.3	Datencleaning	117
5.3.4	Messinstrumente	118
5.3.5	Statistische Auswertung	120
5.3.5.1	Angaben zur Studienbevölkerung	120
5.3.5.2	Zielvariablen	120
5.3.5.3	Einflussvariablen	121
5.3.5.4	Confounder	122
5.3.5.5	Auswertungsplan	123
5.4	Ergebnisse	124
5.4.1	Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung	124
5.4.2	Auswertungen mit der Exposition gegenüber den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariable	129
5.4.3	Auswertungen mit der Exposition gegenüber den gesamten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern als Einflussvariable (ohne die elektromagnetischen Felder der up-link-Frequenzen der Mobiltelefone)	142
5.5	Diskussion	149
6	<i>Schlussfolgerung</i>	156
7	<i>Literatur</i>	158
8	<i>Anhänge</i>	165

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Modell zum Einfluss von Umweltbedingungen	14
Abbildung 2.2: Studiendesign der Phase II und III unter Berücksichtigung der Dosimetrie.....	18
Abbildung 4.1: Studiendesign Phase II.....	22
Abbildung 4.2: Über das Landesvermessungsamt NRW verfügbare Koordinaten	32
Abbildung 4.3: Bland-Altman-Plot der gemessenen und berechneten Leistungsflussdichten.....	41
Abbildung 4.4: Histogramm des Beschwerdescores (Frick)	58
Abbildung 4.5: Mobilfunk-Standorte je 10km ²	69
Abbildung 4.6: Mobilfunk-Standorte je 10.000 Einwohner (Einteilung 10 %-Perzentile)	70
Abbildung 4.7: Anteil der Haushalte mit mind. einer Mobilfunksendeanlage im 500 m Umkreis.....	72
Abbildung 4.8: Histogramm der berechneten Leistungsflussdichten	81
Abbildung 5.1: HF-Prinzipskizze des Personendosimeters (aus Mann et al., 2005).....	101
Abbildung 5.2: GTEM-Zelle als Prinzipskizze (links) und realer Aufbau (rechts).....	102
Abbildung 5.3: Lage 1 (links) und 2 (rechts) des Dosimeters mit Halterung in der Zelle	103
Abbildung 5.4: Reproduzierbarkeitsuntersuchungen bei 10 Messungen pro Frequenz, Gerät DE_001_0306, Lage 1	104
Abbildung 5.5: Streuung der Dosimeter in Lage 1 (oben) und Lage 2 (unten).....	105
Abbildung 5.6: Historie von DE_001_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	107
Abbildung 5.7: Historie von DE_002_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	107
Abbildung 5.8: Historie von DE_003_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (keine Überprüfung in der Mitte der Erhebung, vgl. Tabelle 5.8).....	107
Abbildung 5.9: Historie von DE_004_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	108
Abbildung 5.10: Historie von DE_005_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	108
Abbildung 5.11: Historie von DE_006_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	108
Abbildung 5.12: Historie von DE_007_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	109
Abbildung 5.13: Historie von DE_007_5105 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (keine Überprüfung in der Mitte der Erhebung, vgl. Tabelle 5.8).....	109
Abbildung 5.14: Historie von DE_008_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (Gerät wurde als defekt erkannt und repariert).....	109
Abbildung 5.15: Historie von DE_008_5105 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (keine Überprüfung in der Mitte der Erhebung, vgl. Tabelle 5.8).....	110
Abbildung 5.16: Historie von DE_009_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	110
Abbildung 5.17: Historie von DE_009_5105 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	110
Abbildung 5.18: Historie von DE_010_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	111
Abbildung 5.19: Historie von DE_011_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	111
Abbildung 5.20: Historie von DE_012_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	111
Abbildung 5.21: Historie von DE_013_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	112
Abbildung 5.22: Historie von DE_014_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	112
Abbildung 5.23: Historie von DE_015_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	112
Abbildung 5.24: Historie von DE_016_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	113
Abbildung 5.25: Historie von DE_018_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)	113
Abbildung 5.26: Auszug aus einem erstellten Bericht.....	115
Abbildung 5.27: Histogramm der mittleren Total-field-Werte für die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen für die Studienpopulation der Ergänzungsstudie.....	130
Abbildung 5.28: Histogramm der mittleren Total-field-Werte für die gesamten HF-EMF für die Studienpopulation der Ergänzungsstudie	143

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Übersichtstabelle über Studien zu Effekten von HF-EMFs auf das Schlaf-EEG aus den Jahren 1996-2005	8
Tabelle 2.2 : Übersichtstabelle über Studien zu Effekten von HF-EMFs auf das Wach-EEG aus den Jahren 1997-2006	9
Tabelle 4.1: Beteiligungsrate des Haushaltspanels in der Basiserhebung	23
Tabelle 4.2: Stichprobenstruktur nach Alter, Geschlecht, Bundesland und politischer Gemeindegrößenklasse und Vergleich mit dem Statistischen Jahrbuch.....	24
Tabelle 4.3: Bildungsstand nach Response-Status.....	25
Tabelle 4.4: Non-Responder-Analyse nach dem Modell.....	26
Tabelle 4.5: Variablen in der Datenbank der Bundesnetzagentur	27
Tabelle 4.6: Erforderliche technische Daten für die Schätzung der Exposition	28
Tabelle 4.7: Zusammenfassung der Messungen in Bielefeld	31
Tabelle 4.8: Abstände der Koordinaten der Referenzdatenbank NRW zu den anderen verfügbaren Georeferenzierungen.....	33
Tabelle 4.9: Haushaltspanel: Anzahl nicht georeferenzierter Adressen	35
Tabelle 4.10: Datenbank der Bundesnetzagentur: Anzahl nicht georeferenzierter Adressen nach Plz-Bereich	37
Tabelle 4.11: Anteil der Geokoordinaten des Landesvermessungsamtes an allen Geokoordinaten.....	38
Tabelle 4.12: Sensitivität und Spezifität des Expositionsmaßes.....	41
Tabelle 4.13: Maßzahlen zur Bewertung des ECOLOG-Modells	42
Tabelle 4.14: Kategorisierung der Fragen zu den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen	44
Tabelle 4.15: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Geschlecht, Altersgruppen und Familienstand (gewichtet).....	48
Tabelle 4.16: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Einkommensgruppen (gewichtet)	48
Tabelle 4.17: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach höchstem Schulabschluss (gewichtet)	49
Tabelle 4.18: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach höchstem Berufsabschluss (gewichtet)	49
Tabelle 4.19: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach ausgeübter Berufstätigkeit (gewichtet)	50
Tabelle 4.20: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Haushaltsgröße.....	51
Tabelle 4.21: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Bundesland.....	51
Tabelle 4.22: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Ortsgrößenklassen (gewichtet)	52
Tabelle 4.23: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach der Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage (gewichtet)	52
Tabelle 4.24: Einzelbeschwerden	53
Tabelle 4.25: Multiple logistische Regression mit der Zielvariable „Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen“ (1= Besorgnis und/oder Attribution; 0=weder Besorgnis noch Attribution).....	55
Tabelle 4.26: Beschwerdenscore nach Geschlecht (gewichtet)	56
Tabelle 4.27: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Quintilen des Beschwerdenscores (gewichtet).....	57
Tabelle 4.28: Score nach Geschlecht, Altersgruppen und Familienstand (gewichtet)	58
Tabelle 4.29: Score bei verschiedenen Haushaltseinkommen (gewichtet).....	59
Tabelle 4.30: Score nach höchstem Schulabschluss (gewichtet)	59
Tabelle 4.31: Score nach höchstem Berufsabschluss (gewichtet)	60

Tabelle 4.32: Score nach Beruf des Haushaltsvorstandes (gewichtet)	60
Tabelle 4.33: Score nach Haushaltsgröße (gewichtet).....	61
Tabelle 4.34: Score nach Bundesländern (gewichtet).....	61
Tabelle 4.35: Score nach Gemeindegrößenklassen (gewichtet)	62
Tabelle 4.36: Score nach Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage (gewichtet)	62
Tabelle 4.37: Score nach Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (gewichtet).....	62
Tabelle 4.38: Poisson-Regression zum Beschwerdenscore als Zielvariable:	63
Tabelle 4.39: Vergleich Zuordnung Modell und Originaldaten (gewichtet)	65
Tabelle 4.40: Beschwerde Kopfschmerzen und Schlafstörungen (gewichtet)	65
Tabelle 4.41: Ergebnis der multiplen logistischen Regression: Einzelbeschwerde Kopfschmerzen	66
Tabelle 4.42: Ergebnis der multiplen logistischen Regression: Einzelbeschwerde Schlafstörungen.....	67
Tabelle 4.43: Geokodierung der Mobilfunksendeanlagen.....	71
Tabelle 4.44: Geokodierung der Haushalte.....	71
Tabelle 4.45: Anteil der Teilnehmer in Haushalten mit mindestens eine Mobilfunksendeanlage im Umkreis von 500 m nach Regierungsbezirken (gewichtet)	73
Tabelle 4.46: Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage vs. objektiver Abstand zur nächstgelegenen Sendeanlage (gewichtet)	74
Tabelle 4.47: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Mobilfunksendeanlage haben, nach Geschlecht sowie Alter und Familienstand, gewichtet	74
Tabelle 4.48: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Einkommen (gewichtet).....	75
Tabelle 4.49: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach höchstem Schulabschluss (gewichtet)	76
Tabelle 4.50: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach höchstem Berufsabschluss (gewichtet).....	76
Tabelle 4.51: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Beruf des Haushaltsvorstandes (gewichtet).....	77
Tabelle 4.52: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Haushaltsgröße (gewichtet)	77
Tabelle 4.53: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Bundesland (gewichtet)	78
Tabelle 4.54: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Ortsgrößenklasse (gewichtet)	78
Tabelle 4.55: Logistische Regression mit der Zielgröße Mobilfunksendeanlage im 500 m Umkreis ja oder nein	79
Tabelle 4.56: Haushalte mit und ohne Mobilfunksendeanlage in 500 m Umkreis.....	81
Tabelle 4.57: Kategorisierte, mediane Leistungsflussdichten in mW/m ² der Haushalte	82
Tabelle 5.1: Studienregionen der Vertiefungserhebung	91
Tabelle 5.2: Beteiligungsrate in der Vertiefungserhebung	92
Tabelle 5.3: Stichprobenstruktur der Vertiefungserhebung nach Alter und Geschlecht im Vergleich mit der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes	92
Tabelle 5.4: Studienregionen der Ergänzungserhebung	94
Tabelle 5.5: Rücklaufquote der Ergänzungserhebung	95
Tabelle 5.6: Stichprobenstruktur der Ergänzungserhebung nach Alter und Geschlecht im Vergleich mit der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes	95
Tabelle 5.7: Frequenzbereiche des Personendosimeters EME Spy 120	100
Tabelle 5.8: Frequenzbereiche des Personendosimeters EME Spy 120	106

Tabelle 5.9: Auffälligkeiten bei den Messungen I (ohne Handlungsbedarf).....	115
Tabelle 5.10: Auffälligkeiten bei den Messungen II (mit Handlungsbedarf).....	116
Tabelle 5.11: Ausgeschlossene Fälle auf Grund abweichender Angaben bei Geburtsjahr / Geschlecht.....	118
Tabelle 5.12: In die Auswertung eingeschlossene Fälle.....	118
Tabelle 5.13: Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung hinsichtlich kategorialer Variablen (demographische Angaben, Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und Handynutzung).....	125
Tabelle 5.14: Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung hinsichtlich der Besorgnis wegen der EMF von Mobilfunksendeanlagen (vierstufiges Antwortformat).....	126
Tabelle 5.15: Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung hinsichtlich stetiger Variablen.....	127
Tabelle 5.16: Mittelwert, Perzentile und höchster Wert der mittleren Total-field-Werte für die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen.....	129
Tabelle 5.17: Median des Scores des PSQI (Schlafstörungen) ^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen.....	131
Tabelle 5.18: Median des Scores des HIT (Kopfschmerzen) ^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen.....	131
Tabelle 5.19: Median des Scores der Beschwerdenliste BL ^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen.....	131
Tabelle 5.20: Median des Scores der körperlichen Summenskala des SF-36 ^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen.....	132
Tabelle 5.21: Median des Scores der psychischen Summenskala des SF-36 ^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen.....	132
Tabelle 5.22: p-Werte der Interaktionsterme zwischen „Exposition und Besorgnis“ bzw. zwischen „Exposition und Attribution der Beeinträchtigung auf die EMF von Mobilfunksendeanlagen“ in den multiplen linearen Regressionsanalysen ^a mit allen fünf relevanten Zielgrößen.....	133
Tabelle 5.23: Multiple lineare Regressionen mit dem PSQI-Score (Schlafstörungen) als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	134
Tabelle 5.24: Multiple lineare Regressionen mit dem HIT-Score (Kopfschmerzen) als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	135
Tabelle 5.25: Multiple lineare Regressionen mit dem BL-Score (Beschwerdenliste) als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	136
Tabelle 5.26: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der körperlichen Summenskala des SF-36 als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	137
Tabelle 5.27: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der psychischen Summenskala des SF-36 als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	138
Tabelle 5.28: Verschiedene multiple lineare Regressionsanalysen ^a (β und 95 % KI) mit dem PSQI-Score (Schlafstörungen) als Zielvariable.....	140

Tabelle 5.29: Logistische Regressionen ^a mit den Zielvariablen Schlafstörungen in der letzten Nacht bzw. Kopfschmerzen am Tag der Messung sowie mit den Einflussvariablen Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen	142
Tabelle 5.30: Mittelwert, Perzentile sowie niedrigster und höchster Wert der mittleren Total-field-Werte für die gesamten HF-EMF	143
Tabelle 5.31: p-Werte der Interaktionsterme zwischen „Gesamtexposition und Besorgnis“ bzw. zwischen „Gesamtexposition und Attribution der Beeinträchtigung“ in den multiplen linearen Regressionsanalysen ^a mit allen fünf relevanten Zielgrößen	144
Tabelle 5.32: Multiple lineare Regressionen mit dem PSQI-Score (Schlafstörung) als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	145
Tabelle 5.33: Multiple lineare Regressionen mit dem HIT-Score (Kopfschmerzen) als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	146
Tabelle 5.34: Multiple lineare Regressionen mit dem BL-Score (Beschwerdenliste) als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	147
Tabelle 5.35: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der körperlichen Summenskala des SF-36 als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	148
Tabelle 5.36: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der psychischen Summenskala des SF-36 als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen.....	149

Verwendete Abkürzungen

BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BL	Beschwerdenliste von v. Zerssen
CAPI	Computer Assisted Personal Interviewing
EEG	Elektroenzephalogramm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ERPs	Event-Related Potentials
GLM	Generalisiertes lineares Modell
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications (original: <i>Groupe Spécial Mobile</i>)
HADS	Hospital Anxiety and Depression Scale
HF-EMF	Hochfrequente elektromagnetische Felder
HIT	Headache impact test
IMST	Institut für Mobilfunk und Satellitentechnik
INFAS	Institut für angewandte Sozialforschung
ICNIRP	International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection
KI	Konfidenzintervall
LVermA	Landesvermessungsamt
MFSA	Mobilfunksendeanlage
Plz	Postleitzahl
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index
REM	Rapid Eye Movement
OR	Odds ratio
SAR	Specific Absorption Rate
SSCS	Screening Scale for Chronic Stress
SF-36	Short Form 36
SOL	Sleep Onset Latency
TICS	Trierer Inventar zum chronischen Stress
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WGS	World Geodetic System

Begriffsdefinitionen

Stichproben

Basiserhebung	(a) Schriftliche Befragung von 30.047 Haushalten des so genannten „Access Panels“ (2004). (b) Standortdatenbank der Mobilfunksendeanlagen mit technischen Charakteristika und Geokoordinaten, die von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post zur Verfügung gestellt wurden (2004).
Vertiefungs- erhebung	Schriftliche Befragung von 3.526 Personen mit validierten psychologischen Instrumenten u. a. zu Beschwerden und selbstberichteter gesundheitlicher Lebensqualität (2006).
Ergänzungsstudie	Messtechnische Erfassung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF-EMF) in den Schlafzimmern von 1.500 Personen, ergänzt durch ein CAPI und einen Kurzfragebogen (2006).

Exposition

Exposition gegen- über HF-EMF der Mobilfunk- sendeanlagen	Insgesamt wird die Exposition der hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF-EMF) im Bereich 88 -2500 MHz betrachtet. Dabei gehen wir lediglich von der Ganzkörperbelastung aus. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf den HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen.
Begriffe in der Basiserhebung	Expositionsmaß Das ECOLOG-Institut entwickelte im Auftrag des BfS ein Expositionsmaß, um die tatsächliche Exposition durch HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen der Probanden ohne direkte Messung in epidemiologischen Studien abzuschätzen. Dabei beruht das entwickelte Modell auf physikalischen Parametern (bspw. einem Transmissionsfaktor für Wände oder bebaute Umgebung, Angaben aus der Standortbescheinigung wie u. a. Strahlungsleistung, Montagehöhe über Grund) und Abstände und Winkel zwischen Immissions- und Emissionsort.
Begriffe in der Ergänzungsstudie	Mittlerer Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen Die für die von den Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF über alle Messzeitpunkte pro Person berechnete mittlere elektrische Feldstärke. Dazu zählen: downlink GSM900, downlink GSM1800, downlink UMTS. Exposition (MFSa) Die als 0,1-Variable codierte Exposition gegenüber den von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF. Mittlerer Total-field-Wert für die gesamten HF-EMF Die für alle in der Ergänzungsstudie gemessenen HF-EMF-Felder (abgesehen von den uplink-Frequenzen der Handys) über alle Messzeitpunkte pro Person berechnete mittlere elektrische Feldstärke. Zu den berücksichtigten Frequenzen zählen: UKW-Rundfunk, Analog-TV, DVB-T, TETRA, downlink GSM900, downlink GSM1800, DECT, downlink UMTS, WLAN, Bluetooth, ISM. Gesamtexposition Die als 0,1-Variable codierte Exposition gegenüber allen in der Ergänzungsstudie gemessenen HF-EMF abgesehen von den uplink-Frequenzen der Handys.

Bedenken und Einschätzungen der Studienteilnehmer

Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunk-sendeanlage	Die Nähe zwischen dem Haushalt und der nächsten Mobilfunksendeanlage wurden mit Hilfe eines Fragebogens erfasst. Dabei wird die Selbsteinschätzung der Studienteilnehmer erfragt.
Begriff in der Basiserhebung	<p>Frage nach dem Vorhandensein einer Mobilfunksendeanlage im Wohnumfeld</p> <p>Die Frage lautet: „Wohnen Sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage?“ Die Frage konnte mit „Ja“, „Nein“ und „Weiß nicht“ beantwortet werden.</p>
Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen*	Die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen wurden anhand zweier Fragen im Fragebogen erfasst. Dabei wird die Selbsteinschätzung der Studienteilnehmer erfragt. „Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen“ wird in diesem Bericht als Oberbegriff für „Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen“ und „Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen“ gebraucht.
Begriffe in der Basiserhebung, der Vertiefungs- und Ergänzungsstudie*	<p>Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen</p> <p>Hiermit ist die Antwort auf das folgende Item gemeint: „Fühlen Sie sich durch die elektromagnetischen Felder, die von Mobilfunksendeanlagen ausgehen, gesundheitlich beeinträchtigt?“ Es wird nicht primär danach gefragt, ob sich der Befragte als gesundheitlich beeinträchtigt sieht, sondern ob er diese Beeinträchtigung auf die elektromagnetischen Felder von Mobilfunksendeanlagen zurückführt. Ein solcher Zuschreibungsprozess wird in der Sozialpsychologie als Attribution bezeichnet.</p> <p>Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen</p> <p>Hiermit ist die Antwort auf das folgende Item gemeint: „Machen Sie sich wegen der elektromagnetischen Felder, die von Mobilfunksendeanlagen ausgehen, Sorgen?“</p> <p>Personen, die diese Frage bejahen und die zugleich gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren, werden nicht der Kategorie „Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen“, sondern der Kategorie „Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen“ zugeordnet.</p>

* vergleiche Tabelle 4.14, Seite 44

Beschwerden

Selbstberichtete gesundheitliche Beschwerden	Die gesundheitlichen Beschwerden wurden mit Hilfe eines Fragebogens erfasst. Dabei wird die Selbsteinschätzung der Studienteilnehmer erfragt.
Begriffe in der Basiserhebung	Beschwerdescore nach Frick Er erfasst das Ausmaß der Beeinträchtigung des subjektiven Befindens, sofern diese Beschwerde in der Literatur mit EMF in Verbindung gebracht wird. Das körperliche Beschwerdebild wird mittels 38 Items erfragt.
Begriffe in der Vertiefungs- und Ergänzungsstudie	Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) Erfassung der subjektiven Schlafqualität bei Erwachsenen. Für einen Zeitraum von 2 Wochen werden retrospektiv die Häufigkeit störender Schlafereignisse, die Einschätzung der Schlafqualität, die gewöhnlichen Schlafzeiten, die Einschlafzeit und die Schlafdauer, die Einnahme von Schlafmedikation sowie die Tagesmüdigkeit erfragt. Headache Impact Test (HIT-6; deutsche Version) Misst Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben und die Einsatzfähigkeit, z.B. im Beruf. Beschwerdenliste nach v. Zerssen (BL) Die Beschwerdenliste erfasst das Ausmaß der Beeinträchtigung des subjektiven Befindens, indem das körperliche Beschwerdebild mittels 24 Items erfragt wird. Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-36) Der SF36 erfasst acht Dimensionen, die sich in die Bereiche körperliche und psychische Gesundheit einordnen lassen und dabei körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, körperliche Rollenfunktion, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und psychisches Wohlbefinden messen. Hospital Anxiety and Depression Score – Deutsche Version (HADS-D) Dieses Fragebogeninstrument dient zur Selbstbeurteilung von Angst und Depressivität bei Erwachsenen mit körperlichen Beschwerden bzw. Erkrankungen. Trier Inventar zum chronischen Stress (TICS) Das TICS ist ein standardisierter Fragebogen zur Feststellung von verschiedenen chronischen Stresssituationen der vergangenen drei Monate in Freizeit und Beruf.

1 Zusammenfassung

Die Zunahme der Handynutzer sowie der parallele Aufbau neuer Mobilfunknetze wie z.B. UMTS resultieren in einem rasanten Ausbau des Netzes an Mobilfunksendeanlagen. Ein Handlungsbedarf für die Erforschung der gesundheitlichen Auswirkungen dieser Exposition ergibt sich aus der öffentlichen Besorgnis, der starken Verbreitung der Exposition seit der Einführung der Handys und den bisher inkonsistenten Forschungsergebnissen. Die vorliegende Analyse basiert - erstmalig in der bisherigen Forschung zu Mobilfunksendeanlagen - auf einem bevölkerungsrepräsentativen Ansatz zur Bewertung der Einstellung der Bevölkerung gegenüber der Exposition und zur Untersuchung gesundheitlicher Risiken der hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF-EMF) von Mobilfunksendeanlagen.

Die im Folgenden dargestellte Studie setzt sich aus drei Phasen zusammen: der Pilotphase (Phase I) zur Prüfung der Machbarkeit, der Basiserhebung (Phase II) zur Deskription der Einstellung der Bevölkerung gegenüber der Exposition und der Vertiefungserhebung (Phase III) mit dem Ziel einer Risikoanalyse.

Pilotstudie (Phase I): Die Pilotphase konnte zeigen, dass eine Querschnittsstudie zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen mit den derzeit gegebenen epidemiologischen Methoden, aber auch messtechnischen Möglichkeiten machbar war; insbesondere wurde gezeigt, dass sich eine Geokodierung von Haushalten und Mobilfunksendeanlagen realisieren ließ.

Basiserhebung (Phase II): Der Querschnittsstudie liegen zwei Datenquellen zugrunde: Eine bevölkerungsweite Befragung von Personen im Alter von 14 bis 69 Jahren und die Standortdaten aller genehmigungspflichtigen Mobilfunkbasisstationen, zur Verfügung gestellt von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP).

Die Befragung in den Haushalten des so genannten „Access Panels“ erfolgte zwischen August und November 2004. Von den angeschriebenen 51.444 Personen beteiligten sich 30.047 an der Befragung, dies entspricht einer Responserate von 58,4%. Die Stichprobe der Basiserhebung ergibt für die Altersklassen, das Geschlecht und die Bundesländer eine gute Annäherung an die Zusammensetzung der in deutschen Privathaushalten lebenden Bevölkerung.

Von den Befragten zeigten sich 16,9% wegen der Sendeanlagen besorgt, weitere 9,5% der Teilnehmer fühlten sich durch die Felder von Sendeanlagen gesundheitlich beeinträchtigt. Für die Bundesländer zeigen die Auswertungen zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen ein Nord-Süd-Gefälle: Der Anteil derer, die gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen zurückführen, ist in Mecklenburg-Vorpommern mit 6,2% am geringsten und in Bayern mit 13,0% am höchsten.

Weiterhin zeigte ein multiples logistisches Regressionsmodell, dass vor allem Personen im Alter zwischen 30 und 50 Jahren, Personen mit höherer Schulausbildung (Fach-/Hochschulreife) und Personen, die angaben, in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation zu wohnen, häufiger Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen äußern.

Neben den Auswertungen zu den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen wurde eine Auswertung der mit elektromagnetischen Feldern in Zusammenhang gebrachten Beschwerden (Frick-Liste) durchgeführt. Die am häufigsten genannten starken Beschwerden für den Zeitraum der letzten 30 Tage sind Nackenschmerzen mit 7,9 %, Kopfschmerzen mit 7,5 % und Muskelverspannungen mit 7,1 %.

Das Geschlecht, die Höhe des Einkommens, die Angabe, in unmittelbarer Nähe zu einer Basisstation zu wohnen sowie die Besorgnis wegen der elektromagnetischen Felder von Mobilfunksendean-

lagen waren in einer multivariablen Poisson-Regression mit den EMF-relevanten Befindlichkeitsstörungen (Gesamtscore) assoziiert.

Die von der Bundesnetzagentur – mit dem Einverständnis der Netzbetreiber - zur Verfügung gestellte Standortdatenbank enthält die technischen Daten sowie die Geokoordinaten aller genehmigungspflichtigen Mobilfunksendeanlagen in Deutschland. Die Datenbank mit dem Stand von Mitte 2004 umfasst über 51.000 Standortangaben mit rund 280.000 Antennen.

Die Standorte der Mobilfunksendeanlagen und die geographische Lage der Wohnungen wurden unter Verwendung von Gauß-Krüger-Koordinaten geokodiert. Eine wichtige Voraussetzung zur Anwendung der Expositionsabschätzung ist eine korrekte Geokodierung. Im Laufe der Basiserhebung wurden jedoch unerwartete Ungenauigkeiten bei den Koordinaten festgestellt. Zur Verringerung dieser möglichen Fehlerquelle wurde daher für 10 Bundesländer eine neue Geokodierung durch das Landesvermessungsamt NRW durchgeführt. Die Auswertung nach den berechneten Abständen ergibt, dass der Anteil der Privathaushalte, die im Umkreis von 500m keine Mobilfunkbasisstation haben, in Deutschland bei 47,0% liegt. Dabei sind regionale Unterschiede erkennbar, die sich in erster Linie durch die unterschiedlichen Ortsgrößenklassen erklären lassen: Mit steigender Einwohnerzahl nimmt der Prozentsatz an Haushalten stetig zu, die im 500m-Umkreis einer Mobilfunkbasisstation wohnen. Der Abstand von 500 m wurde gewählt, da bei einem Abstand von mehr als 500m davon ausgegangen wird, dass keine Exposition vorliegt. Allerdings sind Personen, die im Umkreis von 500m und weniger eine Mobilfunksendeanlage haben, nicht unbedingt exponiert, da der Abstand (<500 m) kein geeignetes Expositionsmaß ist.

Das ECOLOG-Institut entwickelte ein Modell, das aus dem Abstand, den Antennenparametern der Daten von der Bundesnetzagentur und Daten der Basiserhebung eine Abschätzung der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen für 29.944 Haushalte erlaubt. Für 14.378 Haushalte (47,9 %), bei denen im 500m Umkreis eine Sendeanlage steht, konnten Leistungsflussdichten berechnet werden. Die mediane Leistungsflussdichte lag bei $0,0060\text{mW/m}^2$. Aufgrund der Abweichungen von gemessenen und berechneten Leistungsflussdichten (nicht-differenzielle Missklassifizierung) führt das Expositionsmaß zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Risikos (vgl. Abschnitt 4.3.4.2). Eine interne Validierung des Modells verdeutlicht seine sehr gute Qualität. Allerdings steht eine externe Validierung auf der Basis einer größeren Anzahl von Messungen noch aus.

Die meisten Probanden können den Abstand zwischen ihrer Wohnung und der nächsten Mobilfunksendeanlage nur schlecht einschätzen: Von den Personen, die aufgrund der berechneten Abstände im 500m Umkreis einer Sendeanlage wohnen, geben nur 21,3 % eine entsprechende Antwort. Geschätzte Abstände eignen sich somit nicht als Annäherungen an die tatsächlichen Abstände. Da auch korrekte Abstände nicht als Surrogate für die tatsächliche Exposition gegenüber HF-EMF geeignet sind, ist für analytische Fragestellungen eine Messung der Exposition, so wie sie in der Phase III dieser Studie erfolgt, unumgänglich.

Vertiefungserhebung und Ergänzungsstudie (Phase III): Für die Vertiefungserhebung wurde aus den Teilnehmern an der Basiserhebung unter Eingrenzung auf wenige Regionen eine stratifizierte Stichprobe von 4150 Personen gezogen, von denen 3526 den Fragebogen der Vertiefungserhebung ausfüllten (Responserate: 85%). Als Ergebnis der geplanten Selektion von potentiell höher exponierten Personen entstammte die Mehrheit der Teilnehmer eher städtischen und vorstädtischen Wohnumgebungen, während nur 13,5% der Teilnehmer ländlich wohnten. Der Fragebogen der Vertiefungserhebung umfasste mehrere validierte Instrumente zur Messung selbst berichteter gesundheitlicher Beschwerden: den Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI) zur Messung von Schlafstörungen, den Headache Impact Test (HIT) zur Erfassung der Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das alltägliche Leben, die Beschwerdenliste (BL) von v. Zerssen sowie den SF-36 zur Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Ferner enthielt der Fragebogen der Vertiefungserhebung die schon in der Basiserhebung eingesetzten Items zur Messung von Bedenken wegen der HF-EMF von

Mobilfunksendeanlagen sowie weitere Skalen zur Messung von Stress (TICS: Trierer Inventar für Chronischen Stress) sowie von Ängstlichkeit und Depressivität (HADS: Hospital Anxiety and Depression Scale). Von den 3526 Teilnehmern an der Vertiefungserhebung erklärten sich 1808 Personen bereit, messtechnische Erfassungen in ihrem Schlafzimmer durchführen zu lassen. Bei 1500 Personen wurden tatsächlich Messungen mit einem Dosimeter der Firma Antennessa durchgeführt, die in ein CAPI (computer assisted personal interview) integriert wurden. Im Rahmen dieser Messungen wurden zudem Fragen zu Kopfschmerzen am Tag der Messung sowie zu Schlafstörungen in der der Messung vorangegangenen Nacht gestellt. Für Analysen, in denen Zusammenhänge zwischen der dosimetrisch erhobenen Exposition sowie den Angaben zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen einerseits und den selbst berichteten gesundheitlichen Beschwerden untersucht wurden, standen die Daten von 1326 Personen zur Verfügung, da 82 Personen wegen eines defekten Dosimeters und weitere 28 wegen Unstimmigkeiten im Datenabgleich zwischen Vertiefungs- und Ergänzungsstudie ausgeschlossen wurden; bei weiteren 64 Personen lagen fehlende Werte für mindestens eine der Variablen des Regressionsmodells vor. Aus den Werten der messtechnischen Erfassungen wurde eine dichotome Expositionsvariable gebildet, wobei das oberste Dezil der am stärksten gegenüber den von Mobilfunksendeanlagen abgestrahlten HF-EMF exponierten Personen als exponiert betrachtet wurde.

Bei zwei Dritteln der Probanden lag der mittlere Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen bei einem Wert von 0,05 V/m. Dies entspricht der Sensitivitätsgrenze der verwendeten Dosimeter. Unter der konservativen Annahme, dass dieser Wert bei den Personen, in deren Wohnungen das Messgerät keine Messwerte aufzeichnete, nicht überschritten wurde, wurden die Werte für diese Personen auf 0,05 V/m gesetzt. Das 90. Perzentil des mittleren Total-field-Werts, das gemäß der Auswertungsstrategie für die Dichotomisierung der Expositionsvariablen herangezogen wurde, lag bei 0,0993 V/m. Der höchste mittlere Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen betrug 1,0981 V/m, und er lag damit weit unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte.

Multiple lineare Regressionen mit der dichotomen Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen und den Bedenken gegenüber Mobilfunkbasisstationen als Einflussvariablen, den verschiedenen selbst berichteten gesundheitlichen Beschwerden als Zielvariablen sowie mit einer Reihe potentieller Störvariablen (Alter, Geschlecht, Wohnumgebung, Schulbildung, Handy-nutzung, Stress, Ängstlichkeit, Depressivität) ergaben die folgenden zentralen Befunde:

- Es finden sich keine Zusammenhänge zwischen der gemessenen Exposition gegenüber den HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen einerseits und den fünf in die Analysen einbezogenen gesundheitlichen Beschwerden andererseits: die Exposition hat keinen statistisch signifikanten Einfluss auf Schlafstörungen, Kopfschmerzen, körperliche Beschwerden sowie auf die körperliche und psychische Dimension der gesundheitlichen Lebensqualität.
- Statistisch signifikante Assoziationen finden sich zwischen der Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen einerseits und Schlafstörungen und körperlichen Beschwerden andererseits. Bei den übrigen drei Zielvariablen (Kopfschmerzen, körperliche und psychische Dimension der gesundheitlichen Lebensqualität) findet sich kein derartiger Zusammenhang mit den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen.
- Statistisch signifikante Interaktionen zwischen der gemessenen Exposition und den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen werden nicht beobachtet: Bei Personen, die stärker gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen exponiert sind, wirken sich Bedenken gegenüber Mobilfunksendeanlagen nicht überproportional auf ihre gesundheitlichen Beschwerden aus.

In den multiplen linearen Regressionen wird der Großteil der Varianz der selbst berichteten gesundheitlichen Beschwerden durch die Variablen Stress, Ängstlichkeit und Depressivität erklärt. Weitere Analysen, die den hier vorgestellten Auswertungen völlig analog waren, in denen jedoch bei der Expositionsbestimmung alle gemessenen HF-EMF außer den uplink-Frequenzen der Mobiltelefone berücksichtigt wurden, führten zu prinzipiell gleichen Befunden wie die Analysen, in

denen für die Expositionsbestimmung nur die von den Mobilfunksendeanlagen abgestrahlten HF-EMF einbezogen wurden.

2 Einleitung

Die Exposition der Bevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Radiofrequenzbereich: 30 kHz – 300 MHz, Mikrowellenbereich: 300 MHz – 300 GHz) hat seit der Einführung des Mobilfunks in erheblichem Maße zugenommen. Die durch diese Technologie ausgelöste Diskussion über gesundheitliche Risiken hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) wurde in den letzten Jahren nicht zuletzt aufgrund uneinheitlicher Ergebnisse vielseitiger Forschungsaktivitäten äußerst kontrovers geführt. Bereits Ende 1999 nutzten ca. 25 % der Bevölkerung ein Mobiltelefon, immerhin 50 % der Haushalte waren es im Jahr 2000 (Blettner et al. 2000). Dem Statistischen Bundesamt zufolge waren 72 % aller Haushalte in Deutschland im Jahr 2004 und 82 % aller Haushalte im Jahr 2005 mit mindestens einem Mobiltelefon ausgestattet (Statistisches Bundesamt 2004, 2006). Inzwischen finden sich in den Haushalten mehr Mobil- als Festnetztelefone (Statistisches Bundesamt 2004).

Die Wahrnehmung der mit Mobilfunksendeanlagen verbundenen Risiken ist Gegenstand mehrerer Studien: In einer INFAS-Befragung geben 30 % der Personen an, sich wegen der von Sendeanlagen, Mobiltelefonen oder schnurlosen Telefonen ausgehenden HF-EMF Sorgen zu machen, 9 % halten sich sogar wegen dieser HF-EMF für gesundheitlich beeinträchtigt (INFAS-Institut 2004). In einer in der Schweiz durchgeführten Befragung (Rööslü et al. 2004) bezeichnen sich 36 % der Befragten als „ziemlich“ oder „stark“ besorgt wegen Mobilfunksendeanlagen – dies ist allerdings deutlich weniger als der Anteil der Besorgten wegen Luftverschmutzung mit 69 %. Hutter et al. (2002) weisen zu Recht auf eine Reihe von Besonderheiten der von solchen Mobilfunksendeanlagen abgestrahlten HF-EMF hin: Im Unterschied zu den HF-EMF der Mobiltelefone besteht die Exposition durch die HF-EMF von Sendeanlagen 24 Stunden am Tag; zudem handelt es sich dabei um eine Ganzkörperexposition. Im Unterschied zu anderen Quellen von HF-EMF zeichnen sich die von Mobilfunksendeanlagen emittierten Felder durch andere Trägerfrequenzen und eine andere Form der Modulation aus. Mobilfunknetze arbeiten in den Frequenzbereichen 900 MHz (digitale D-Netze), 1.800 MHz (digitale E-Netze) und 2.100 MHz (UMTS) und liegen somit im Frequenzspektrum der Mikrowellen (Juutilainen & de-Seze 1998). Allerdings sollte bei der Risikodiskussion berücksichtigt werden, dass die Exposition, die von einem Mobiltelefon ausgeht, 100- bis 1000-fach höher ist als die Emission, die üblicherweise von Mobilfunksendeanlagen gemessen wird (Schüz & Mann 2000).

Befürchtungen, die hinsichtlich der Mobilfunksendeanlagen geäußert werden, müssen ernst genommen werden. Neben den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der von Sendeanlagen emittierten HF-EMF können für die Risikowahrnehmung psychologische Faktoren eine Rolle spielen. Hutter et al. (2004) berichten, dass die mit Mobiltelefonen verbundenen Risiken als geringer eingeschätzt werden als die mit Mobilfunksendeanlagen in Zusammenhang gebrachten Risiken. Die Autoren führen diesen Unterschied darauf zurück, dass es sich bei der Exposition durch die HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen um ein unfreiwillig eingegangenes und kaum kontrollierbares Risiko handelt. Im Allgemeinen gilt, dass Menschen Risiken als schwerwiegender einstufen, wenn die Risiken nicht kontrollierbar sind. Im Fall der Mobilfunksendeanlagen kommt hinzu, dass dieses Risiko als noch unbekannt und wenig erforscht gilt, was ebenfalls zu einer erhöhten Aufmerksamkeit und Risikowahrnehmung beiträgt.

Ein Handlungsbedarf für die weitere Erforschung der gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition durch Mobilfunksendeanlagen ergibt sich damit zusammenfassend aus der öffentlichen Besorgnis, der starken Verbreitung der Exposition seit der Einführung der Mobiltelefone und aus den bisher inkonsistenten Forschungsergebnissen (Kundi et al. 2004, König 2002, Owen 2000, Repacholi 1998).

2.1 Literaturübersicht

Der Einfluss elektromagnetischer Felder auf biologisches Gewebe wird als Rate der aufgenommenen Energie gemessen. Bezeichnet wird sie als „Specific Absorption Rate“ (SAR). Empfehlungen zu den Grenzwerten für die Allgemeinbevölkerung werden von der International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ausgesprochen. Dabei liegt diesen Grenzwertbestimmungen die thermische Auswirkung der HF-EMF zugrunde. Ein Temperaturanstieg von 1°C ergibt sich bei der Exposition einer Person unter gemäßigten Umgebungsbedingungen durch eine Ganzkörper-SAR von ca. 4 W/kg während einer Zeitdauer von 30 Minuten. Eine durchschnittliche Ganzkörper-SAR von 0,4 W/kg wurde durch die ICNIRP als Grenzwert definiert, um einen angemessenen Schutz vor beruflich bedingter Exposition zu gewährleisten. Ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von fünf wurde für den Schutz der Allgemeinbevölkerung zugrunde gelegt. Entsprechend liegt der Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung bei einer SAR von 0,08 W/kg (Mittelwert für die Ganzkörperbestrahlung) (ICNIRP 1996). Die entsprechenden gesetzlichen Regelungen sind in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) zu finden.

Unklar ist bisher der Mechanismus der HF-EMF auf biologische Vorgänge (Stewart 2000, Blettner & Berg 2000, Habash et al. 2003, Kundi et al. 2004). Sie rufen, im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung, keine chemischen Veränderungen in der Zelle hervor. Zwar können elektromagnetische Impulse ausgelöst werden, diese übersteigen jedoch nicht die Größenordnung biologisch ablaufender Impulse. Weitestgehend belegt sind allerdings die thermischen Effekte der HF-EMF, denen auch die Grenzwertbestimmungen zugrunde liegen (ICNIRP 1998). In Versuchen, in denen Zellkulturen oder Tiere HF-EMF ausgesetzt wurden, konnten einige physiologische Effekte nachgewiesen werden (Michaelson & Elson 1996, Herman & Hossman 1997). Allerdings sind die Ergebnisse nicht einheitlich und häufig nicht replizierbar. Zu den gefundenen Wirkungen zählen Veränderungen der neuralen und neuromuskulären Funktionen, erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirnschranke, Verschlechterung der Sehfähigkeit, Veränderungen im Immunsystem, Veränderungen im hämatologischen System, bei der Fortpflanzungsfähigkeit, der Zellmorphologie, des Wasser- und Elektrolythaushalts sowie der Membranfunktion.

2.1.1 Einfluss der Nutzung von Mobilfunktelefonen auf die Hirnaktivität

Das weltweit am meisten verwendete System für Mobilfunknetze ist das GSM. Entsprechend wurden die meisten Studien bezüglich biologischer Effekte durch Mobiltelefone mit GSM-900-Frequenzen durchgeführt. Dabei werden Signale mit einer Frequenz von ca. 900 MHz erzeugt und mit einer Frequenz von 217 Hz gepulst. Die Pulsweite beträgt 577µs. Die in den Studien erzeugte Sendeleistung ergibt zumeist spezifische Absorptionsraten (SAR) von etwa 1,5 W/kg, entsprechend der Belastung, die bei der Nutzung von Mobiltelefonen auftritt. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Studien, die mit unterschiedlichen Methoden die biologischen Effekte von HF-EMF untersuchten, veröffentlicht: Die neuronalen Effekte wurden mittels Schlaf- und Wach-EEG untersucht. EEG-bezogene Stimuli (event-related potentials, ERPs) wurden eingesetzt, um sensorische und kognitive Auswirkungen festzustellen (Hamblin & Wood 2002).

Gegenstand der Untersuchungen sind überwiegend die expositionsbedingten Effekte im EEG. Daraus abgeleitete mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit werden bislang nur vorsichtig diskutiert. Die Studien, die die Effekte von HF-EMF auf den menschlichen Schlaf untersuchten, sind meist in einem doppelblinden Crossover-Design durchgeführt worden. Das heißt, ein Teil der Probanden wurde der Schein-Exposition (sham exposure) ausgesetzt, während der andere Teil die echte Exposition erfuhr. Nach Abschluss des ersten Teils des Experiments tauschten die Gruppen mit Exposition und Schein-Exposition. Es wurden jeweils die Veränderungen im EEG untersucht sowie - je nach speziellem Design der Studie - bestimmte Schlafparameter, z. B. Schlafdauer, Dauer bis zum Eintritt in den Schlaf (sleep onset latency, SOL), Dauer bis zum Eintritt in die REM-Phase (REM latency), Dauer des nicht-REM-Schlafes oder Dauer des REM-Schlafes. Unterschiede im Design bedingen sich durch die Vorbereitung der Probanden auf die Untersuchung sowie den Ta-

geszeitpunkt des Experiments. Einige Studien führten das Experiment nach längerer Schlafabstinenz der Probanden an einem Vormittag durch, während andere Untersuchungen eine gesamte Nacht andauerten. Weitere Unterschiede ergeben sich durch die Expositionsquelle, so dass aufgrund abweichender Expositionsparameter eine Vergleichbarkeit der Studienergebnisse erschwert ist. Hierbei ist zudem zu berücksichtigen, dass die Aussagen der Studien auf relativ geringen Fallzahlen beruhen. Die relevanten Studiendesigns und Studienergebnisse sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

Insgesamt sind die Ergebnisse der Studien sehr heterogen. Trotz ihrer Heterogenität stimmen die Studien aber weitgehend darin überein, dass die Exposition mit HF-EMF leichte Effekte im Sinne einer schlaffördernden Wirkung hervorruft. Vor allem der Anstieg der Leistungsdichte im Alpha-Band des Schlaf-EEGs wird von nahezu allen Studien bestätigt (Mann & Röschke 2004).

Neben den Effekten auf das Schlaf-EEG untersuchten Studien die Wirkung von HF-EMF auf das Wach- oder Ruhe-EEG. Exemplarisch soll an dieser Stelle das Design der Studie von Curcio et al. (2005) detaillierter beschrieben werden. Die Studienpopulation bestand aus 20 gesunden, rechts-händigen Männern und Frauen im Alter von 22 bis 31 Jahren. Die Probanden wurden randomisiert und doppelt verblindet einer von zwei Experiment-Gruppen zugewiesen. Jeder Proband wurde drei Bedingungen ausgesetzt: Einer Basis-Untersuchung ohne Exposition, einer Untersuchung mit Scheinexposition und einer Untersuchung unter Expositionsbedingungen mit jeweils mindestens 48 Stunden Pause zwischen den Untersuchungen. Als Expositionsquelle diente das Mobiltelefon „Motorola Timeport 260“. Eine Helmvorrichtung hielt das Mobiltelefon in der üblichen Position ca. 1,5 cm vom linken Ohr entfernt. Je nach experimenteller Bedingung wurde das Mobiltelefon entweder an- (Exposition) oder ausgeschaltet (Scheinexposition). Die Basisuntersuchung stellte unter Abwesenheit von HF-EMF das Grundlevel der Hirnaktivität fest. Bei dieser Untersuchung trugen die Probanden lediglich den Helm ohne das Mobiltelefon. Darüber hinaus wurde Gruppe 1 vor der EEG-Aufzeichnung exponiert, während das EEG der Gruppe 2 in den letzten 7 Minuten während der Exposition aufgezeichnet wurde. Die Exposition dauerte jeweils 45 Minuten und bestand aus einem HF-EMF mit einer Frequenz von 894,6 MHz, gepulst mit 217 MHz und einer SAR von durchschnittlich 0,11 W/kg. Gruppe 1 ging während der Exposition ihren Lieblingsaktivitäten wie Lesen, Unterhalten, Musikhören etc. nach, während dieses bei Gruppe 2 nur die ersten 38 Minuten geschah, so dass die EEG-Aufzeichnung ohne Aktivitäten stattfand. Um auszuschließen, dass die Effekte von unkontrollierten Geräuschemissionen des Mobiltelefons ausgelöst wurden, wurde während des Experiments ein Rauschen durch Lautsprecher gesendet, die sich vor den Probanden befanden. Bei unterschiedlichem Messzeitpunkt in Relation zur Exposition waren die Expositionsbedingungen und -werte in beiden Gruppen gleich. Weitere Ergebnisse dieser experimentellen Studien sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Fazit: Aus dem gegenwärtigen Stand der Forschung kann geschlossen werden, dass HF-EMF die Gehirnströme des Menschen beeinflussen. Besonders der Anstieg der spektralen Leistungsdichte im Alpha-Band des EEGs wird durch viele Studien bestätigt. Die diesem Effekt zugrunde liegenden biologischen Mechanismen sind hingegen unbekannt, so dass keine Schlüsse auf die Folgen dieser Beobachtungen für die menschliche Gesundheit gezogen werden können (Huber et al. 2002).

Tabelle 2.1: Übersichtstabelle über Studien zu Effekten von HF-EMFs auf das Schlaf-EEG aus den Jahren 1996-2005

Quelle	Studiendesign	Studienpopulation	Exposition	Allgemeine Ergebnisse
Mann und Roschke (1996)	Randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Crossover-Studie	N = 12 gesunde, männliche Probanden, Alter: 21-34 Jahre	900MHz, gepulst mit einer Frequenz von 217 Hz, digitales Funktelefon, durchschnittliche power flux density 0,5 W/m ²	Keine signifikanten Ergebnisse bzgl. des Schlafempfindens Signifikant reduzierte Einschlafzeit von 12,25 auf 9,5 min Anstieg der mittleren Leistungsdichte in allen Frequenzbändern im REM-Schlaf
Wagner et al. (1998) und Mann et al. (1998)	Randomisierte, sham-exposure kontrollierte, doppelblinde Crossover-Studie	N = 22 gesunde Männer, Alter: 18-37 Jahre	900MHz, gepulst mit einer Frequenz von 217 Hz, SAR 0,3-0,6W/kg, durchschnittliche power flux density 0,2 W/m ²	Reduzierte Zeit bis zum Schlafeintritt von 15,9 auf 15,3 Minuten Verkürzung der REM-Phase von 100,5 auf 95 Minuten Verlängerte Phase bis zum Eintritt in den REM-Schlaf von 60,6 auf 76 Minuten Keine signifikanten Unterschiede zwischen Exposition und Schein-Exposition in allen Frequenzbändern
Borbély et al. 1999	Randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Crossover-Studie	N = 24 gesunde, rechtshändige Männer, 20-25 Jahre alt	900MHz, gepulst mit einer Frequenz von 217 Hz, SAR = 1 W/kg, Exposition im 15 Min.-Takt während der ganzen Nacht	signifikante Reduktion der Wachphasen-Dauer nach Schlafanbruch von 18,2 auf 12,1 min; p < 0,01 Anstieg bei 10-11 Hz (Alpha Band) in der initialen Schlafphase Anstieg bei 13,5-14 Hz (Beta-Band) in der initialen Schlafphase
Huber et al. (2000)	Randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Crossover-Studie	N = 13 gesunde, rechtshändige Männer, Alter: 20-25 Jahre	900MHz, SAR = 1 W/kg, Exposition 30 min andauernd vor einer 3-stündigen Schlafepisode	Anstieg bei 9,75-11,25 Hz (Alpha-Band) in den ersten 30 Minuten des Nicht-REM-Schlafes Anstieg bei 12,25-13,25 Hz (Beta-Band) in den erste 30 Minuten des Nicht-REM-Schlafes
Huber et al. (2002)	Doppelblinde kontrollierte Crossover-Studie	N = 13 gesunde, rechtshändige Männer, Alter: 20-25 Jahre	900MHz, SAR = 1 W/kg, Exposition 30 Min. andauernd vor einer 3-stündigen Schlafepisode	Keine signifikanten Ergebnisse Verlängerung des non-REM-Schlafes Stadium 3 und 4 von 80 auf 86,8 Minuten Anstieg vor dem Einschlafen (Alpha-Band) Anstieg bei 12,25-13,5 Hz (Beta-Band) in der ersten Nicht-REM-Schlafphase
Loughran et al. (2005)	Randomisierte, doppelblinde Crossover-Studie	N = 55 gesunde Probanden, 30 Männer, 25 Frauen, Alter: 18-60 Jahre	894,6 MHz, gepulst mit einer Frequenz von 217 Hz, 30 Min. vor dem nächtlichen Schlaf mit GSM digitalem Mobiltelefon, SAR 0,11 W/kg	Reduzierte Zeit bis zum Schlafeintritt von 37,37 auf 36,97 Minuten Signifikant verkürzte Phase bis zum Eintritt in den REM-Schlaf von 107,77 auf 90,17 Minuten Signifikanter Anstieg (p = 0,22) bei 11,5-12,25 Hz in den ersten 30 Minuten des ersten Nicht-REM-Schlafes

Tabelle 2.2 : Übersichtstabelle über Studien zu Effekten von HF-EMFs auf das Wach-EEG aus den Jahren 1997-2006

Quelle	Studiendesign	Studienpopulation	Exposition	Allgemeine Ergebnisse
Roschke und Mann (1997)	Einfach verblindetes, kontrolliertes Cross-over-Experiment	N = 34 gesunde Männer, Alter: 21-35 Jahre	900 MHz, gepulst mit 217 Hz, 3,5 Min.	keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EEG bei Exposition und Nicht-Exposition
Eulitz et al. (1998)	Einfach verblindet, kontrolliert	N = 13 gesunde Männer, Alter: 21-27 Jahre	916,2 MHz gepulst mit 217 Hz, Exposition u.a. während einer auditiven Differenzierungsaufgabe	Veränderungen bei 18,75-31,25 <Hz (Beta-Band) nur während der kognitiven Anstrengung
Krause et al. (2000)	Einfach verblindet, kontrolliert	N = 16 gesunde, rechtshändige Männer und Frauen, mittleres Alter: 23,2 Jahre	902 MHz, gepulst mit 217 Hz, 60 Min. Exposition während einer Merkaufgabe	Anstieg bei 4-8 Hz (Theta-Band) in der rechten Hemisphäre Signifikanter Anstieg bei 8-10 Hz (Alpha-Band)
Hietanen et al. (2000)	Einfach verblindete, randomisierte, kontrollierte Crossover-Studie	N = 19 gesunde Probanden (9 Frauen, 10 Männer), Alter: 28-48 Jahre	900 MHz oder 1800 MHz, 20 Min. Mobiltelefon	Signifikanter Anstieg der Leistungsdichte bei 1,5-3,5 Hz (Delta-Band)
Croft et al. (2002)	Einfach verblindete, counterbalanced Crossover-Studie	N = 24 Probanden, je 8 Männer und Frauen, davon 20 Rechtshänder, Alter: 19-48 Jahre	900 MHz gepulst mit 217 Hz, Mobiltelefon	Reduktion bei 1-4 Hz (Delta-Band). Signifikanter Anstieg bei 8-12 Hz (Alpha-Band)
D'Costa et al. (2003)	Pilotstudie, einfach verblindet, kontrolliert	N = 10 Probanden, je 5 Männer und Frauen, Alter: 18-30 Jahre	900 MHz gepulst mit 217 Hz bei maximaler Leistung sowie 1-32 Hz im Stand-by-Modus	Signifikanter Unterschied bei 8-13 Hz (Alpha-Band). Signifikanter Unterschied bei 13-32 Hz (Beta-Band)
Papageorgiou (2004)	Einfach verblindet	N = 19, 10 Frauen und 9 Männer	900 MHz	EEG-Leistungsdichte stieg bei Frauen und sank bei Männern unter Exposition
Curcio et al. (2005)	Randomisiert, kontrolliert, doppelblind	N=20 gesunde Probanden, je 10 Männer und Frauen, Alter: 22-31 Jahre	902,4 MHz gepulst mit 217 Hz, SAR 0,5W/kg	Signifikanter Anstieg bei 9-10 Hz für EEG nach Exposition. Signifikanter Anstieg bei 11 Hz für EEG während Exposition (Alpha-Band)
Hamblin et al. (2006)	Doppelblinde, kontrollierte Cross-over Studie	N = 120	895 MHz gepulst mit 217 Hz, SAR 0,11W/kg	Kein Effekt auf auditiv oder visuell evozierte Potenziale

2.1.2 Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen auf die kognitiven Fähigkeiten

Mögliche Wirkungen von HF-EMF auf die kognitiven Fähigkeiten untersuchte eine englische Studie. Hier konnte an 36 Versuchspersonen eine erhöhte kognitive Reaktionsfähigkeit während der Exposition durch die elektromagnetischen Felder von Mobiltelefonen gezeigt werden (Preece et al. 1999). In einer weiteren einfach verblindeten, randomisierten, kontrollierten Studie wurden bei 38 gesunden Freiwilligen im Alter von 20 – 22 Jahren die Effekte von HF-EMF auf ihre kognitiven Fähigkeiten untersucht (Edelstyn & Oldershaw 2002). Die Experimentalgruppe wurde 15 und 30 Minuten lang einem Feld mit 900 MHz ausgesetzt. Die exponierte Gruppe zeigte nach 15-minütiger Exposition gegenüber der nicht exponierten Gruppe eine signifikante Verbesserung bezüglich der Merkfähigkeit vorgelesener Zahlenfolgen und der Anordnung geometrischer Körper sowie der Lösung serieller Subtraktionsaufgaben.

Fazit: Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen auf eine verbesserte Aufmerksamkeit und ein verbessertes Erinnerungsvermögen.

2.1.3 Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen auf selbst berichtete gesundheitliche Beschwerden

Für Beschwerden, möglicherweise ausgelöst durch die Nutzung von Mobiltelefonen, werden inkonsistente Ergebnisse berichtet. Eine schwedisch-norwegische Studie an über 11.000 Mobiltelefonnutzern ergab für das Auftreten von verschiedenen Symptomen wie Müdigkeit, Kopfschmerzen oder Wärmeempfindung nur geringe Unterschiede bei Nutzern analoger und digitaler Geräte. Bei beiden Gerätetypen zeigte sich jedoch ein klarer Trend für eine Zunahme der Symptome mit der Nutzungshäufigkeit und der Nutzungsdauer. Andere Einflussvariablen, wie Stress im Beruf und weitere Faktoren, die einen Einfluss auf diese Symptome haben könnten, wurden jedoch nicht ausführlich erfasst, so dass keine eindeutigen Aussagen getroffen werden konnten (Ofstedal et al. 2000, Sandström et al. 2001, Mild et al. 1998).

Chia et al. (2000) untersuchten in einer Querschnittstudie an 808 Männern und Frauen ebenfalls Beschwerden von Mobiltelefonnutzern. Zu den untersuchten Beschwerden zählten Sehstörungen, Parästhesien (hier beschrieben als Hautkribbeln im Gesicht, Erwärmungsgefühl auf der Haut und hinter dem Ohr) Müdigkeit, Gedächtnisverlust, Konzentrationsschwäche, Schwindelanfälle und Kopfschmerzen. Lediglich Kopfschmerzen traten in der exponierten Gruppe statistisch signifikant häufiger auf als in der nicht exponierten Gruppe. Das Auftreten von Kopfschmerzen war Mobiltelefonnutzern zudem dosisabhängig.

Fazit: Die bisherigen Ergebnisse epidemiologischer und experimenteller Studien zu den verschiedenen Beschwerden sind aufgrund der unterschiedlichen Ansätze nur begrenzt zu vergleichen. Das heißt, sowohl Fragestellung, Studiendesign, Methodik als auch die Ergebnisse weisen starke Unterschiede auf. Im Rahmen eines Reviews zu Beschwerden und Nutzung von Mobiltelefonen gelangen Seitz et al. (2004, 2005) zu der abschließenden Bewertung, dass nur für Kopfschmerzen Hinweise auf einen Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen vorliegen, wobei sie von einer möglichen Assoziation und nicht von einem kausalen Zusammenhang sprechen. Für die übrigen Symptome halten die Autoren Zusammenhänge für unwahrscheinlich, wollen sie aber vor allem wegen der teilweise geringen Zahl an Studien und der Widersprüchlichkeit einer Reihe von berichteten Befunden auch nicht ausschließen.

2.1.4 Einfluss der HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen auf selbst berichtete gesundheitliche Beschwerden

Zwamborn et al. (2003) vom holländischen TNO-Institut publizierten eine auch in der breiten Öffentlichkeit viel beachtete Laborstudie zu den Wirkungen der von Mobilfunksendeanlagen abgestrahlten HF-EMF. Sie untersuchten zwei Gruppen von je 36 Personen: Die Probanden der Gruppe A attribuierten subjektive Beschwerden auf Mobilfunksendeanlagen, während

sich die Probanden der Gruppe B, der Kontrollgruppe, durch Mobilfunksendeanlagen nicht beeinträchtigt fühlten. Der Versuchsplan enthielt drei Verumexpositionen, nämlich GSM 900 MHz, GSM 1.800 MHz und UMTS 2.100 MHz, die Feldstärken betragen 1 Vm^{-1} . Das Untersuchungsdesign sah für jeden Teilnehmer vier Phasen zu je 30 Minuten vor: Ein für alle gemeinsames Training und drei weitere Phasen, nämlich eine Sham- und zwei Verumexpositionen. Jeder Proband wurde nach einer zufälligen Verteilung zwei der drei Verumexpositionen zugeordnet. Während jeder der vier Phasen füllten die Teilnehmer einen Fragebogen zum subjektiven Wohlbefinden aus und führten zudem kognitive Tests durch. Für beide Gruppen ergab sich ein signifikanter Unterschied beim berichteten Wohlbefinden zwischen der Sham-Bedingung und der UMTS-Bedingung; zwischen der Scheinexposition und der 900 MHz-beziehungsweise der Scheinexposition und der 1800 MHz-Exposition wurden dagegen keine Unterschiede beim Wohlbefinden festgestellt. Bei den kognitiven Tests ergaben sich bei beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Die Autoren konzedieren, dass die zwischen Placebo- und UMTS-Exposition festgestellten Unterschiede gering sind, dass es Carry-Over-Effekte zwischen den Phasen gegeben haben kann und dass die Expositionszeiten sehr kurz waren. Weiterhin ist an der TNO-Studie zu bemängeln, dass die Ergebnisse aus a posteriori durchgeführten paarweisen Tests ohne eine Bonferroni-Korrektur der Irrtumswahrscheinlichkeit ermittelt wurden; tatsächlich fanden die Autoren der TNO-Studie in Globaltests über alle vier Untersuchungsbedingungen (Placebo, 900 MHz, 1.800 MHz, 2.100 MHz) keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Eine Wiederholung der doppelblinden randomisierten Probandenstudie mit 33 elektrosensitiven und 84 nicht elektrosensitiven Probanden konnte die gefundenen Ergebnisse der TNO-Studie hinsichtlich der UMTS-Exposition nicht bestätigen. Eine Exposition durch ein UMTS-Feld (Feldstärken von 1 Vm^{-1} und 10 Vm^{-1}) führte zu keiner Veränderung des Wohlbefindens in beiden Probandengruppen. Auch konnte kein konsistenter Einfluss auf die kognitiven Leistungen nachgewiesen werden. In dieser Schweizer Studie wurden die Probanden den Bedingungen der TNO-Studie entsprechend exponiert. Zusätzlich wurde eine relativ hohe Feldstärke mit 10 Vm^{-1} angewendet, um eine Dosis-Wirkungsbeziehung ermitteln zu können. Allerdings konnte auch bei zehnfach erhöhter Exposition kein Einfluss festgestellt werden (Regel et al. 2006).

Navarro et al. (2003) führten 2001 eine Erhebung in La Nora, Spanien, in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage (1.800 MHz) durch. In dieser fragebogenbasierten Erhebung wurden Informationen von 101 Personen ausgewertet. Ein lokales Team verteilte Fragebögen, die allerdings nur rund 5 % der 1.900 Einwohner der Ortschaft beantworteten. Trotz Messungen zur Expositionsbestimmung wurden die Teilnehmer über das schlecht interpretierbare Abstandsmaß von der Mobilfunksendeanlage in zwei Gruppen geteilt: Die Teilnehmer der ersten Gruppe gaben an, in weniger als 150 m Entfernung zur Mobilfunksendeanlage zu wohnen. Die zweite Gruppe wohnte mindestens 250 m von der Mobilfunksendeanlage entfernt. Bei der Untersuchung von Navarro et al. (2003) bleiben viele Fragen unbeantwortet. Dies ist begründet durch Unklarheiten sowohl beim methodischen Vorgehen, wie z. B. bei der Teilnehmerselektion als auch in der inhaltlichen Darstellung. Aufgrund der unzureichenden Qualität der Erhebung sehen wir davon ab, die Ergebnisse dieser Studie zu präsentieren.

In Frankreich wurden 530 Personen schriftlich nach Alter, Geschlecht, geschätzter Distanz zur Mobilfunksendeanlage und der Lokalisation der Wohnung zur Antenne befragt (Santini et al. 2002). Es fehlen Hinweise zur Art der Rekrutierung der Teilnehmer und zur Responserate. Alle abgefragten Beschwerden wurden einzeln ausgewertet, ohne dass Adjustierungen für Alter, Geschlecht und weitere mögliche Einflussgrößen durchgeführt wurden. Ob Personen negative gesundheitliche Einflüsse durch Mobilfunksendeanlagen erwarteten, wurde nicht abgefragt. Zur Bestimmung der Expositionshöhe wurden die Eigenangaben zum Abstand zwischen Wohnort und Mobilfunksendeanlage genutzt. Diese Methode ist als Maß der Exposition nicht geeignet. Aufgrund der unklaren Informationslage und der unzureichenden Quali-

tät der Erhebung werden keine Ergebnisse dieser Studie präsentiert. Die Arbeit von Santini erfüllt nicht die Mindestanforderungen an eine wissenschaftliche Studie. Der methodische Ansatz ist nicht nachvollziehbar. Es mangelt an grundlegenden Informationen zur Rekrutierung der Teilnehmer sowie zur Sicherheit der Distanzschätzungen.

In einer ägyptischen Studie wurden - ebenfalls in einem Querschnittsdesign - 165 Personen hinsichtlich neuropsychiatrischer Befindlichkeiten befragt (Abdel-Rassoul et al. 2006). Dabei wurde die Exposition von einer Mobilfunkseudeanlage ausgehend festgelegt. 37 Personen, die in dem Haus lebten, auf dem die Mobilfunkseudeanlage aufgebaut war, sowie 48 Personen, die im Nachbarhaus wohnten, wurden als exponiert betrachtet. Als nicht exponierte Gruppe wurden 80 Personen ausgesucht, die nach Alter, Geschlecht sowie beruflicher und schulischer Ausbildung der Gruppe der Exponierten entsprach. Es mangelt an grundlegenden Informationen zur Rekrutierung der Teilnehmer, Responseraten sowie zur Expositionsabschätzung gerade der Personengruppe, die im Haus unter der Antenne wohnte. Es fanden HF-EMF-Messungen in der Interventionsregion statt, nicht jedoch in der Kontrollregion. Es bleibt unklar, ob die Probanden von der Existenz der Mobilfunkseudeanlage wussten. Aufgrund des Fehlens wichtiger Informationen sehen wir auch hier davon ab, die Ergebnisse dieser Studie darzustellen.

Hutter et al. (2002, 2006) untersuchten im Umkreis um fünf ländliche und fünf städtische Mobilfunkseudeanlagen insgesamt 365 Probanden in Österreich, die die Beschwerdenliste von v. Zerssen, den Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) sowie einen Fragebogen zur Schlafqualität ausfüllten und zudem Tests zu verschiedenen kognitiven Fähigkeiten durchführten. Die Entfernung zwischen Wohnung und Seudeanlage lag bei den ländlichen Mobilfunkseudeanlagen zwischen 24 und 600 m, bei den städtischen Mobilfunkseudeanlagen zwischen 20 und 250 m. Bei 336 der 365 Probanden wurden die Hochfrequenz-Immissionen im Schlafzimmer durch Breitbandmessungen ermittelt, zusätzlich erhoben die Autoren auch die Besorgnis wegen EMF, die von Mobilfunkseudeanlagen emittiert wurden. In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse wurde die Leistungsflussdichte in drei Kategorien eingeteilt ($\leq 0,1 \text{ mWm}^{-2}$; $0,1-0,5 \text{ mWm}^{-2}$; $> 0,5 \text{ mWm}^{-2}$); neben der Leistungsflussdichte war die Wohnumgebung (städtisch/ländlich) die zweite Einflussvariable. Als Kovariablen wurden neben dem Alter und dem Geschlecht die Mobiltelefonnutzung und die Besorgnis wegen der von Mobilfunkseudeanlagen emittierten EMF einbezogen. Die Beschwerdenliste von v. Zerssen wurde von den Autoren mit einer logistischen Regression auf der Ebene der einzelnen Beschwerden ausgewertet; die ursprünglich 5-kategoriellen Antworten wurden dabei dichotomisiert (Beschwerde vorhanden/nicht vorhanden). Dabei fanden die Autoren für drei Einzelbeschwerden einen signifikanten Einfluss der GSM-Immissionen, nämlich für Kopfschmerzen, kalte Hände oder Füße sowie für Konzentrationsschwierigkeiten. Signifikante Zusammenhänge zwischen der HF-EMF-Exposition und Schlafstörungen wurden nicht gefunden. In einer Varianzanalyse mit dem Summenscore des PSQI als Zielvariable erwiesen sich weder die GSM-Immissionen noch die Wohnumgebung als signifikante Einflussfaktoren, signifikant war hingegen der Einfluss der beiden Kovariablen Alter und Besorgnis wegen der von Mobilfunkseudeanlagen emittierten HF-EMF. Auch bei einer Auswertung des PSQI auf der Ebene der sieben Subskalen ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der HF-EMF-Exposition und den einzelnen Merkmalen des Schlafverhaltens.

Positiv ist an der Studie zu bewerten, dass die Exposition tatsächlich gemessen wurde, dass auch auf die HF-EMF von Mobilfunkseudeanlagen bezogenen Bedenken berücksichtigt wurden und – im Unterschied zu der französischen, ägyptischen und der spanischen Studie – auch für Confounder adjustiert wurde. Die Autoren selbst bezeichnen ihre Studie als explorativ, da sie weder Hypothesen bilden noch Korrekturen für multiples Testen vornahmen. Kritisch anzumerken ist, dass die Autoren nicht darauf eingehen, inwiefern sich die 29 Personen, die Messungen in ihrer Wohnung abgelehnt haben, von den übrigen 336 Probanden unterscheiden. In einem Kommentar zur Studie von Hutter et al. kritisiert Coggon (2006), dass die

Autoren lediglich eine Kurzzeitexposition an einem einzigen Ort gemessen haben, an dem sich die Probanden zudem nur zeitlich begrenzt aufhielten. Ferner stellt auch Coggon die Frage nach zufälligen Signifikanzen bei der Analyse der einzelnen Beschwerden der Zerssen-Liste.

Fazit: Bisherige epidemiologische Ergebnisse sind inkonsistent und basieren häufig auf unzulänglichen Studiendesigns oder unzureichender Expositionserfassung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gesundheitlichen Risiken hochfrequenter elektromagnetischer Felder auch im Bezug auf allgemeine Beschwerden wohl eher gering sind. Für die Bewertung und Abschätzung des Expositionsumfangs aber auch zur Bestätigung dieser Risiken und für deren quantitative Erfassung sind bisher keine epidemiologischen Daten in Deutschland vorhanden.

2.1.5 „Subjektive“ und „objektive“ Umweltbedingungen als Determinanten von Beschwerden

Um Beschwerden zu erklären, müssen Umweltbedingungen im naturwissenschaftlichen Sinn und zugleich die subjektive, d.h. die erlebte Umwelt, einbezogen werden. Messbare Umweltbedingungen wie die Konzentration von Schadstoffen oder HF-EMF-Intensitäten zu berücksichtigen, gilt im naturwissenschaftlich-medizinischen Modell als selbstverständlich, während Wahrnehmungs-, Bewertungs- und kognitive Verarbeitungsprozesse des Individuums seltener einbezogen werden. Dafür, dass die subjektive Umwelt für das Krankheitsgeschehen im Allgemeinen und für Beschwerden im Besonderen eine große Bedeutung hat, gibt es in der umweltpsychologischen Literatur eine große Zahl an Belegen, von denen einige beispielhaft genannt seien:

1. Matthies et al. (2000) konnten zeigen, dass Gefährdungseinschätzungen bei Anwohnern von Altlastengebieten den wichtigsten Prädiktor für selbst berichtete Beschwerden darstellen.
2. Bei Anwohnern einer Giftmülldeponie korrelierte die subjektive Bewertung des Gesundheitsrisikos wesentlich höher mit Stressindikatoren als der Abstand zwischen Wohnung und Deponie (Unger et al. 1992).
3. Aus der Lärmforschung ist bekannt, dass physikalische Parameter des Schalls wie Schalldruck, Frequenzverteilung, Amplituden etc. nur etwa ein Drittel der Varianz der Lärmbelästigung erklären. So genannte Moderatorvariablen wie die Einstellung zur Lärmquelle, die Überzeugung, den Lärm kontrollieren zu können, die Erklärbarkeit der Geräuschursache, die Bewertung der Geräuschquelle als gefährlich oder nützlich, die Bewertung des Geräusches als vermeidbar oder notwendig haben auf die Lärmbelästigung einen mindestens genauso großen Einfluss wie die „objektiven“ physikalischen Maße (Guski 1987).

Aus den genannten Untersuchungen und Befunden lässt sich ersehen, dass wahrgenommene Umweltbelastungen genau wie objektive Expositionen einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit haben.

In der Literatur werden verschiedene integrative Modelle vorgeschlagen, die sowohl objektive als auch wahrgenommene Umweltbedingungen als Determinanten von subjektiver Gesundheit und Beschwerden berücksichtigen. Diese Modelle beziehen sich – explizit oder implizit – auf das Stressmodell von Lazarus et al. (1981). In diesem Modell ist ein Stressor nicht aus sich selbst heraus definiert, sondern das Resultat der Wechselwirkung von Person- und Umweltmerkmalen. Stress entsteht, wenn eine Person eine Situation als bedrohlich oder als herausfordernd bewertet (primary appraisal). Die Person prüft in einem zweiten Bewertungsschritt, ob und über welche Ressourcen sie verfügt, um die Situation zu bewältigen (secondary appraisal) und sie wird dann unter Einsatz dieser Ressourcen Handlungen durchführen, um wieder in einen Gleichgewichtszustand zu gelangen (so genanntes Coping). Anschließend kommt es zu einer Neubewertung der Situation, und die Person prüft erneut, ob die Situation

für sie bedrohlich oder herausfordernd ist. Stress hat daher nach diesem Modell auch einen Prozesscharakter, da die Schleife aus diesen beiden Bewertungsstufen und dem Coping mehrfach durchlaufen werden kann.

Ein integratives Modell, mit dem versucht wird, den Zusammenhang zwischen Umweltbedingungen und Beschwerden zu erklären und in dem Umweltbedingungen als Stressoren betrachtet werden, stammt von Bullinger et al. (1997) (vgl. Abbildung 2.1).



Abbildung 2.1: Modell zum Einfluss von Umweltbedingungen auf den Menschen (nach Bullinger & Guski, 1997)

Dieses Modell sieht drei unterschiedliche Wege vor, auf denen Umweltbedingungen wie Lärm, HF-EMF oder Schadstoffe Beschwerden, und dazu gehören auf der körperlichen Dimension subjektive Beschwerden, hervorgerufen werden können:

- Für den Fall einer physiologischen Erklärung lässt sich der Umweltfaktor als *Noxe* beschreiben – wie etwa bei der Entstehung von Müdigkeit durch eine geringere Sauerstoffaufnahmekapazität bei überhöhter Bleiexposition.
- Wenn eine Person ihre Beschwerden auf bestimmte Umweltfaktoren zurückführt, ohne dass es einen etablierten medizinischen Wirkmechanismus gibt, spricht man von einer *Kausalattribution*, die ihrerseits einen erheblichen Einfluss auf das Krankheitsgeschehen ausüben kann, wenn die Person fest von der Richtigkeit dieser Attribution überzeugt ist.
- Schließlich können Umweltfaktoren im psychologischen Sinn zu *Stressoren* werden, wenn die Person – wie im Lazarus-Modell beschrieben – diese Umweltbedingungen als bedrohliche Reize bewertet und wenig Chancen sieht, diese Bedingungen zu kontrollieren. Derartige Stressoren können auf der körperlichen, psychischen oder funktionalen Ebene Veränderungen, d. h. Stressreaktionen, hervorrufen, die als Beschwerden zu werten sind wie etwa eine größere Ängstlichkeit oder Konzentrationsschwierigkeiten.

Die Differenzierung zwischen subjektiven und objektiven Umweltbelastungen findet sich auch bei Preuss (1995), die zwischen Belastungen 1. Art – dies sind Noxen wie Schadstoffe, Lärm, EMF – und Belastungen 2. Art unterscheidet. Unter letzteren versteht sie psychische Verarbeitungsprozesse, die zu Beschwerden führen können, und sie trennt dabei das Ignorieren oder Katastrophieren tatsächlicher Umweltbelastungen von Sorgen oder Ängsten ohne eine tatsächliche Umweltbelastung: Derartige Sorgen und Ängste erhöhen die Stressbelastung, was dann über eine Schwächung des Individuums und größere Krankheitsanfälligkeit zu psychovegetativen Beschwerden führen kann. Dabei stellt sich stets die Frage, wie Belastungen 1. Art und Belastungen 2. Art zusammenspielen: Welcher Anteil von Beschwerden durch Umweltbelastungen geht auf Ängste, Sorgen und Phantasien zurück, welcher Anteil auf tatsächliche Schadstoffe, d.h. auf Noxen, und gibt es dabei möglicherweise auch synergetische Effekte?

Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass bei der Entstehung von Beschwerden sowohl die Umweltnoxe an sich als auch physiologische Mechanismen und kognitive Prozesse der Wahrnehmung und Verarbeitung von Umweltreizen bedeutsam sein können. Während für Lärm und Luftverschmutzung auch die kognitiven Faktoren bereits gut erforscht sind, gibt es für nicht direkt wahrnehmbare Umweltbelastungen wie etwa HF-EMF weniger Forschungsbefunde. Folgende Aspekte gelten allerdings für die Risikowahrnehmung der HF-EMF von Mobilfunkseideanlagen:

1. EMF sind sinnlich nicht wahrnehmbar. Die subjektive Exposition und die Einstufung der HF-EMF als bedrohlich im Sinne des Stressmodells hängen damit von der Information durch Dritte, der Verfügbarkeit und Glaubwürdigkeit dieser Informationen und ihrer kognitiven Bewertungen ab.
2. Berichte über Forschungsbefunde über die Wirkung von Mobilfunk-HF-EMF unterliegen der Selektionslogik der Medien. Wenn – wie im Fall der HF-EMF von Mobilfunkseideanlagen – den Menschen eigene Erfahrungen und Bewertungskriterien fehlen, kommt solchen Selektionen und Interpretationen der Medien besonderes Gewicht zu (Lees-Haley et al. 1992).
3. Wenn neue Risikosituationen mit fehlenden individuellen und kollektiven Erfahrungen auftreten, verwenden Menschen passend erscheinende Deutungsmuster aus anderen Kontexten (Lees-Haley et al. 1992): Dies können stereotype Vorstellungen sein, denen zufolge HF-EMF – wie beim Radar bekannt – generell gefährlich ist.
4. Hinsichtlich der Mobilfunkseideanlagen haben Menschen nur wenig Kontrollchancen: Sie haben kaum Einfluss auf die Errichtung der Seideanlagen und haben keine effektiven Möglichkeiten, die HF-EMF abzuschirmen. Als einzige Coping-Möglichkeit im Sinne des Stressmodells bleiben Proteste und Bürgerinitiativen.
5. Es handelt sich bei den von Mobilfunkseideanlagen abgestrahlten HF-EMF um eine unfreiwillig eingegangene Exposition – ein Faktor, der eine geringere Risikoakzeptanz, eine höhere Besorgnis und eine größere Stressbelastung zur Folge hat.

Fazit: Die genannten Punkte verdeutlichen, dass subjektiven Faktoren ebenfalls eine Bedeutung zukommen kann, wenn der Einfluss der von Seideanlagen emittierten HF-EMF auf die subjektive Gesundheit untersucht wird. Es ist demnach wichtig, bei der Untersuchung möglicher gesundheitlicher Folgen, die sich aus der Exposition gegenüber HF-EMF ergeben können, neben der objektiven Exposition auch psychosoziale Faktoren und expositionsbezogene Kognitionen einzubeziehen.

2.2 Fragestellung

Viele Studien konnten Effekte von gepulsten HF-EMF auf den menschlichen Körper zeigen. Im Bereich der EEG-Studien wurden Veränderungen des Leistungsspektrums und der Schlafparameter gezeigt. Auch in den Experimenten, die das Wach- oder Ruhe-EEG untersuchten, konnten Veränderungen auf die Hirnaktivität festgestellt werden. Bezüglich der Auswirkungen dieser Effekte auf die menschliche Gesundheit besteht weitgehende Unklarheit.

Bisherige epidemiologische Ergebnisse sind inkonsistent und basieren häufig auf unzulänglichen Studiendesigns oder unzureichender Expositionserfassung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gesundheitlichen Risiken HF-EMF auch in Bezug auf allgemeine Beschwerden wohl eher gering sind. Für die Bewertung und zur Abschätzung des Expositionsumfanges aber auch zur Bestätigung dieser Risiken und für deren quantitative Erfassung sind bisher keine epidemiologischen Daten in Deutschland vorhanden.

Wahrgenommene Umweltbelastungen können genau wie objektive Strahlenexpositionen einen wesentlichen Einfluss auf die subjektive Gesundheit haben. Die Folgerung für epidemiologische Studien besteht darin, die Person und ihre Einschätzung stärker einzubeziehen.

Aus der dargestellten inhaltlichen Grundlage heraus stellen sich unterschiedliche Fragen, die im Rahmen der Querschnittstudie „QUEBEB“ beantwortet werden sollten. Dabei erfolgte eine Beantwortung der Fragen in drei Phasen:

PHASE I:

1. Ist eine bundesweite Querschnittstudie mit geokodierter Verlinkung zwischen Haushalten und Mobilfunkseanlagen und einer eingegrenzten Stichprobe zur vertiefenden Erhebung machbar?

PHASE II:

2. Wie hoch ist die Prävalenz von Personen, die in der Nähe einer Mobilfunkseanlage wohnen? Gibt es regionale Unterschiede?
3. Wie hoch ist die Prävalenz der Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen in der Allgemeinbevölkerung?
4. Deskription der Prävalenz der Beschwerden, die in der Literatur mit der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Zusammenhang gebracht werden.
5. Erhebung und Deskription der Wohnsituation und -umgebung (z.B. Ausrichtung der Fenster relativ zur Lage der Basisstation, Bebauungstyp), die für die Errechnung des Expositionsmaßes erforderlich sind?

PHASE III:

6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Exposition durch die von Mobilfunkseanlagen emittierten HF-EMF und berichteten Beschwerden?
7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Besorgnis wegen der von Mobilfunkseanlagen emittierten HF-EMF und der Attribution von Beeinträchtigungen auf diese Felder einerseits und berichteten Beschwerden andererseits?
8. Gibt es Interaktionen zwischen der unter Punkt 6 genannten Exposition und den unter Punkt 7 genannten Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen?

2.3 Design

Seit Juli 2003 wird eine Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunksendeanlagen durchgeführt (QUEBEB-Studie).

Schwerpunkte in Phase I der Querschnittstudie, der so genannten Pilotphase (07/2003 – 05/2004) waren die Operationalisierung des Studiendesigns, die Klärung der Machbarkeit einer Geokodierung von Haushalten und Mobilfunksendeanlagen zur Abstandsbestimmung und die Recherche nach wissenschaftlicher Literatur in diesem Gebiet (siehe Zwischenbericht der Pilotphase).

In Phase II, der Basiserhebung der QUEBEB-Studie (05/2004 – 06/2005) fand eine bundesweite Befragung in 30.047 Haushalten statt mit dem Ziel einer Prävalenzabschätzung gesundheitlicher Beschwerden, die in einen möglichen Zusammenhang mit den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen gebracht werden. Außerdem ermöglicht die Verwendung von Georeferenzierungen für Haushalte und Sendeanlagen eine Beschreibung der Wohnsituation in Bezug zu Mobilfunksendeanlagen (siehe Zwischenbericht Basiserhebung).

Ab Dezember 2005 konnte dann Phase III, die so genannte Vertiefungserhebung, erfolgen. Das Studiendesign in Phase III zeichnet sich durch drei Merkmale aus. Diese sind:

- a) eine vertiefende schriftliche Befragung zu subjektiven Beschwerden,
- b) die regionale Eingrenzung von Phase III auf wenige in Phase II ausgesuchte Studienregionen und
- c) die aus der Eingrenzung auf wenige Regionen sich ergebende Möglichkeit, ergänzende Expositionsbestimmungen durch Anwendung von Dosimetern in den teilnehmenden Haushalten durchzuführen (Ergänzungsstudie).

Ziel der Vertiefungserhebung (Phase III und Ergänzungsstudie) ist die Untersuchung der Assoziation zwischen den Feldern von Mobilfunksendeanlagen aber auch der Besorgnis und selbst berichteten gesundheitlichen Beschwerden. Dabei handelt es sich im Gegensatz zu der Untersuchung in Phase II (Basiserhebung) um eine analytische Herangehensweise.

Auf der Basis der Ergebnisse von Phase III und der Ergänzungsstudie kann eine klare Aussage zur Gesamtsituation der teilnehmenden Haushalte hinsichtlich einer Exposition durch die HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen erfolgen. Ein Überblick über das gesamte Studiendesign ist in der Abbildung 2.2 dargestellt.

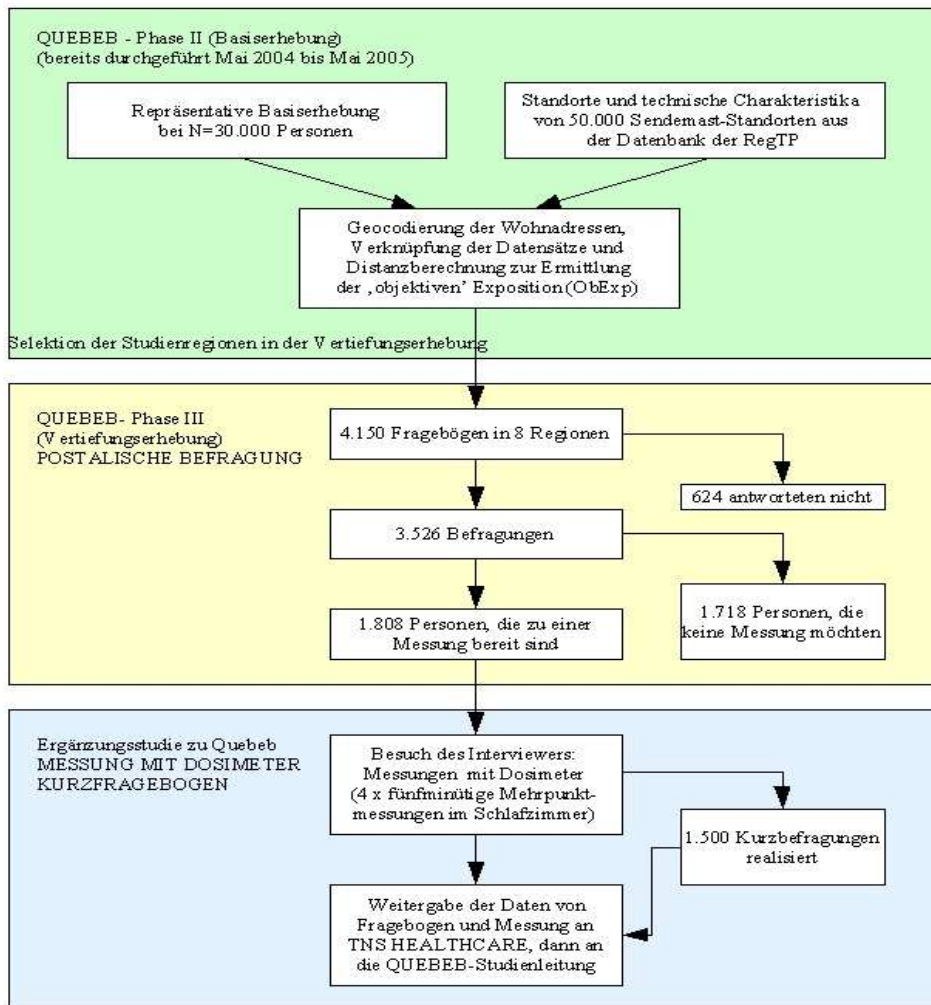


Abbildung 2.2: Studiendesign der Phase II und III unter Berücksichtigung der Dosimetrie

3 Bericht zur Phase I

Die Pilotphase hat gezeigt, dass eine Querschnittsstudie zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen mit den derzeit gegebenen epidemiologischen Methoden, aber auch messtechnischen Möglichkeiten machbar ist und wichtige, neue Informationen sowohl für die Wissenschaft als auch für die Politik liefern wird. Diese Schlussfolgerung basiert auf den Ergebnissen der Pilotphase (http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/koll_protokoll_040504.html, letzter Zugriff: 16.04.2007) und den Diskussionen des zweiten epidemiologischen Kolloquiums des BfS vom 04.05.04 (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_verg/epi_020_ZwB_01.pdf, letzter Zugriff: 16.04.2007).

Im Literaturreview konnte dargestellt werden, welche Beschwerden in Zusammenhang mit Mobilfunksendeanlagen gebracht werden. Dazu zählen: Schlafstörungen, Schlafprobleme, Unbehagen, Unwohlsein, Kopfschmerzen, Ohrgeräusche, Ohrerwärmung, Ermüdung, Reizbarkeit, Nervosität, Übelkeit, Appetitlosigkeit, Depression, depressive Tendenz, Konzentrationschwierigkeiten, schlechteres Gedächtnis, Schwindel, Sehstörungen, Augenprobleme, kardiovaskuläre Symptome, Parästhesien. Diese sollen deshalb als mögliche EMF-bezogene Beschwerden zusammengefasst werden. Zu diesen Themenkomplexen existieren valide, standardisierte und vielfach verwendete Erhebungsinstrumente. Besonders hervorzuheben ist der Fragebogen EMF-bezogener Beschwerden von Frick et al. (2002), der in der Basiserhebung eingesetzt wurde.

Hinsichtlich des Auftretens von potentiellen EMF-Beschwerden wird von akuten Effekten ausgegangen. Anders als bei der Entstehung chronischer Erkrankungen gibt es hier keine „Latenzzeit“ nach erfolgter Exposition. Folglich sind im Rahmen der Querschnittsstudie Daten zur früheren oder kumulativen Exposition nicht erforderlich. Das heißt, die aktuelle Exposition durch Mobilfunksendeanlagen wird assoziiert mit den derzeit vorhanden Beschwerden – eine klassische Fragestellung für eine Querschnittsstudie (Neubauer et al. 2003)!

Die Studie (Basiserhebung) sollte an einer unselektierten Bevölkerung zur Bestimmung der Prävalenzen exponierter Personen sowie der Prävalenz besorgter bzw. gesundheitlich beeinträchtigter Personen durchgeführt werden. Eine Verblindung gegenüber dem Studienziel ist in der Basiserhebung aufgrund der Streuung der Fragen in einem umfangreichen Fragebogen außerdem sichergestellt. In einer kurzen Piloterhebung (Fragebogen siehe Anhang) konnte das Vorgehen getestet und als machbar eingeschätzt werden.

Die Geokodierungen der Standorte der Mobilfunksendeanlagen sowie der Wohnadressen der Teilnehmer des Health Access Panels erlauben eine objektive Bestimmung des Abstandes zwischen Haushalt und Sendeanlage(n) sowie die Bestimmung der Himmelsrichtung, in der die Haushalte in Bezug zur Sendeanlage liegen. Beide Faktoren sind wichtige und notwendige Bestandteile für die Bestimmung des Expositionsschätzers, deren Entwicklung durch das ECOLOG-Institut erfolgte. Die Machbarkeit einer Geokodierung wurde in der Pilotphase eindeutig belegt.

Voraussetzung für den bevölkerungsbezogenen Ansatz und für die überproportionale Stichprobenziehung von stärker Exponierten in der Vertiefungsphase ist die Verfügbarkeit einer Möglichkeit zur Expositionsschätzung. Das Projekt zur „Bestimmung der elektromagnetischen Expositionen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen im Rahmen epidemiologischer Studien“ hat ein erstes Modell für solch eine Schätzung geliefert.

Die Regionalisierung der Vertiefungserhebung (Phase III) ermöglicht neben der Erweiterung um Expositionsmessungen vor Ort auch die Durchführung von ausführlichen schriftlichen

Befragungen zu selbst berichteten gesundheitlichen Beschwerden. Damit kann sowohl die Exposition präziser erfasst als auch die Befragung vertiefend ausgeweitet werden.

Das Design dieser Querschnittsstudie erlaubt es gerade durch den phasenartigen Aufbau und die Regionalisierung der Vertiefungserhebung auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse (z.B. hinsichtlich der Expositionsabschätzung) kurzfristig zu reagieren. Erst die Kombination der Phase II und Phase III liefert eine umfassende Risikodarstellung für die Bevölkerung in der Bundesrepublik.

4 Bericht zur Phase II – Basiserhebung

4.1 Ziele der Basiserhebung

Das Ziel der Basiserhebung war die Bestimmung von Prävalenzen der Beschwerden, der Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und die Erhebung des Vorhandenseins von Mobilfunksendeanlagen in der näheren Wohnungsumgebung. Die Basisbefragung dient neben der deskriptiven, bevölkerungsrepräsentativen Epidemiologie auch der Stichprobenziehung für die Vertiefungserhebung. Die Ziele im Einzelnen:

- Repräsentative objektive Prävalenzschätzung der Beschwerden
 - bundesweit und regional
 - differenziert nach der geschätzten Nähe zu Mobilfunksendeanlagen sowie nach Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen
- Repräsentative Beschreibung des Vorhandenseins und der Distanz von Mobilfunksendeanlagen im näheren Umfeld (< 500m) von Privathaushalten (bundesweit und regional, sowie nach Siedlungstypen differenziert)
 - Anzahl der Haushalte, die mehr als 500 m von der nächstliegenden Mobilfunksendeanlage entfernt liegen, so dass für sie von einer höchstens minimalen Innenraumexposition ausgegangen werden kann
 - Sofern ein Haushalt von mindestens einer Sendeanlage weniger als 500m entfernt ist, Anzahl der Sendeanlagen, die in diesem Umkreis liegen
- Beschreibung der Einschätzungen der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage sowie der Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen in Abhängigkeit von regionalen (Stadt/ Land) und soziodemographischen Merkmalen (z.B. Alter, Geschlecht, Bildung, Stellung im Beruf)
- Erhebung der Eigenschaften der Wohnsituation und –umgebung (z.B. Ausrichtung der Fenster relativ zur Lage der Mobilfunksendeanlage, Bebauungstyp), die für die Errechnung des Expositionsmaßes erforderlich sind.

Die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der tatsächlichen Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Beschwerden/ Beeinträchtigungen erfolgt in Phase III.

4.2 Design

Die Hauptaufgabe von Phase II war es, die Verteilung der Beschwerden in Deutschland zu beschreiben. Hierzu wurde ein spezifisches Fragebogenmanual zusammengestellt: Zur Erfassung der Beschwerden wurde der Fragebogen einer Studie zur Elektrosensibilität (Frick et al. 2002) übernommen. Dort wurde die 4-Wochen-Prävalenz von 36 Beschwerden, die in der Literatur im Zusammenhang mit einer Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder aufgeführt werden, in einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe (n=750) der Stadt Regensburg untersucht. Die Liste von Frick entspricht mit den aufgezählten Beschwerden denen, die auch Ergebnis einer eigenen Literaturrecherche in Phase I waren (QUEBEB Arbeitsgruppe 2004). Zusätzlich wurde im Quebeb-Fragebogen erfasst, ob sich die Studienteilnehmer aufgrund von Mobilfunkbasisstationen Sorgen um ihre Gesundheit machen oder sich wegen der von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF gesundheitlich beeinträchtigt fühlen. Die Probanden sollten auch ihre eigene Einschätzung darüber abgeben, ob sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage wohnen und wenn ja, wie weit diese von ihrer Wohnung entfernt liegt.

Die Befragung wurde im August/ September 2004 von TNS-Healthcare durchgeführt. Basis war ein bestehendes Haushaltspanel. Von den Teilnehmern liegen neben den Angaben aus dem Fragebogen zusätzlich weitere Angaben wie Wohnadresse und Sozialstatus vor.

Die tatsächliche Exposition durch elektromagnetische Felder von Mobilfunksendeanlagen konnte mit Hilfe der Fragebogenangaben sowie der Angaben aus einer Datenbank geschätzt werden, die von der Bundesnetzagentur zur Verfügung gestellt wurde. In der Datenbank sind dem Projekt – mit Einverständnis der Mobilfunknetzbetreiber – die Daten zu Adresse, Geokodierung, Sicherheitsabständen, Abstrahlwinkel und Netz aller Mobilfunksendeanlagen in Deutschland zur Verfügung gestellt worden. Die Datenbank umfasst über 51.000 Standortangaben mit rund 280.000 Antennen. Die Standorte der Mobilfunksendeanlagen wurden mittels Geokodierung mit der Lage der Wohnungen der Studienteilnehmer verknüpft. Mit dem vom ECOLOG-Institut in einer anderen Studie entwickelten Expositionsmaß sollte die Exposition durch elektromagnetische Felder abgeschätzt werden. Dieses Expositionsmaß dient der Ermittlung einer Gruppe von höher exponierten Probanden. Die hierfür benötigten Angaben lassen sich aus der Befragung (Bebauungsart, Höhe der Wohnung, Lage zur nächsten Sendeanlage) und aus der Datenbank der Bundesnetzagentur (Höhe über Grund der Sendeanlage, Anzahl der Anlagen, Hauptstrahlrichtung und zugehöriges Netz) zusammenstellen.



Studiendesign Phase II



Abbildung 4.1: Studiendesign Phase II

4.3 Material und Methoden

4.3.1 Haushaltspanel

4.3.1.1 Grundgesamtheit und Stichprobe

Die Grundgesamtheit der QUEBEB-Basisbefragung ist die im Jahre 2004 in Privathaushalten in Deutschland lebende Bevölkerung im Alter von 14 bis 69 Jahren.

Die Basisbefragung wurde im Rahmen der Screeningerhebung 2004 des TNS Infratest Access Panels durchgeführt. Die methodische Qualität des Access Panels für bevölkerungsepidemiologische Erhebungen ist in Potthoff et al. (2004) und in Mueller et al. (2004) dargestellt.

Die Screeningerhebung 2004 des Access Panels fand von August bis Anfang November 2004 statt und richtete sich an 51.444 Haushalte. Da für jede Person in diesen Haushalten die Angaben über Geschlecht, Alter und Bundesland des Wohnortes in der Panel-Datenbank gespeichert waren, konnte aus der Gesamtheit der Haushaltsmitglieder des Panels nach einem mathematischen Zufallsverfahren in jedem Haushalt genau eine Person in eine Bruttostichprobe gezogen werden. Diese entspricht in ihrer Zusammensetzung nach Alter, Geschlecht und Bundesland annähernd den Strukturen der Grundgesamtheit der in Privathaushalten lebenden Bevölkerung im Alter von 14 bis 69 Jahren.

Das Geschlecht und Geburtsjahr der derart ausgewählten Personen wurden am Anfang des QUEBEB-Fragebogenteils in diesen eingedruckt und es wurde darum gebeten, dass nur die ausgewählte Person diesen Fragebogenteil ausfüllt. Das Verfahren der Personenzuordnung ist in Methodentests überprüft worden, indem im Fragebogen Informationen erfragt wurden, die in der Probandendatenbank gespeichert sind. Die Ergebnisse dieser Tests haben eine hohe Zuverlässigkeit der Zuordnung ergeben.

Die Befragung wurde mit einem schriftlich selbstauszufüllenden Fragebogen (siehe Anhang) durchgeführt.

4.3.1.2 Stichprobenstruktur, Beteiligungsraten und Non-Responder-Analysen

Beteiligungsraten

Von den angeschriebenen 51.444 Personen beteiligten sich 30.161 an der Befragung. Nach Prüfung mussten 114 Fragebögen ausgeschlossen werden, da sie nur unvollständig ausgefüllt waren. Somit gelangten 30.047 Fragebögen in die Auswertung. Dies entspricht einer Beteiligungsrate von 58,4% (Tabelle 4.1), wobei zu den Respondern nur Personen gezählt wurden, die einen auswertbaren Fragebogen zurückgeschickt haben.

Tabelle 4.1: Beteiligungsrate des Haushaltspanels in der Basiserhebung

	Abs.	in %
Bruttostichprobe	51.444	100,0
Responder	30.047	58,4
Non-Responder	21.397	41,6

Inwieweit diese Stichprobe ein unverzerrtes Abbild der Grundgesamtheit ist, wird im Folgenden unter Rückgriff auf die amtliche Bevölkerungsstatistik des Statistischen Bundesamtes und unter Verwendung ausgewählter Daten der Non-Responder geprüft.

Stichprobenstruktur

Die Zusammensetzung der Nettostichprobe des Panels nach Altersgruppen, Geschlecht, Bundesländern und Gemeindegrößenklassen ist in der nachfolgenden Tabelle 4.2 wiedergegeben und den Verteilungen aus der amtlichen Statistik (Statistisches Bundesamt 2003) gegenübergestellt. Die 14- bis 19-jährigen Teilnehmer sind aus Vergleichsgründen in Tabelle 4.2 nicht aufgeführt.

Tabelle 4.2: Stichprobenstruktur nach Alter, Geschlecht, Bundesland und politischer Gemeindegrößenklasse und Vergleich mit dem Statistischen Jahrbuch

	Bevölkerung 2001 nach Statistischem Jahrbuch 2003 (in %)	QUEBEB-Basisbefragung (ungewichtet) (in %)	
Bevölkerung nach Altersgruppen			
20 bis 29 Jahre	17,1	14,9	
30 bis 39 Jahre	24,6	24,0	
40 bis 49 Jahre	22,4	22,1	
50 bis 59 Jahre	17,5	19,8	
60 bis 69 Jahre	18,4	19,3	
Bevölkerung nach Geschlecht			
Männer	48,9	47,9	
Frauen	51,1	52,1	
Bevölkerung (20-69 Jahre) nach Bundesland			
Schleswig-Holstein	3,4	3,3	
Hamburg	2,2	1,9	
Niedersachsen	9,5	9,7	
Bremen	0,8	0,9	
Nordrhein-Westfalen	21,6	21,3	
Hessen	7,4	7,1	
Rheinland-Pfalz	4,8	4,6	
Baden-Württemberg	12,8	12,2	
Bayern	14,9	14,4	
Saarland	1,3	1,2	
Berlin	4,4	4,9	
Brandenburg	3,3	3,6	
Mecklenburg-Vorpommern	2,2	2,2	
Sachsen	5,4	6,1	
Sachsen-Anhalt	3,2	3,5	
Thüringen	3,0	3,4	
Bevölkerung nach politischer Gemeindegrößenklasse			
		ungewichtet	gewichtet
bis 5.000	16,9	21,2	17,5
5.000 bis 20.000	25,6	33,3	26,3
20.000 bis 50.000	18,1	15,8	18,3
50.000 bis 100.000	8,7	8,3	8,6
100.000 bis 500.000	16,3	9,1	15,9
500.000 oder mehr	14,4	12,3	13,5

Die Stichprobe der Basiserhebung zeigt für die Altersklassen, das Geschlecht und die Bundesländer eine gute Annäherung an die Verhältnisse in der bundesdeutschen Bevölkerung, so wie sie sich aus dem Statistischen Jahrbuch ergibt.

Im Vergleich nach Gemeindegrößenklassen ergibt sich eine Abweichung dahingehend, dass in der Stichprobe des Access Panels die kleineren Gemeinden über- und die Städte von 100.000 bis 500.000 Einwohnern unterrepräsentiert sind. Diese Verzerrung wurde durch eine Gewichtung der Gemeindegrößenklassen ausgeglichen. Die Tabelle gibt sowohl die ungewichtete wie auch die gewichtete Verteilung der Personen nach Gemeindegröße wieder.

Da in der Paneldatenbank der Bildungsstand aller Panelmitglieder gespeichert ist, konnte für dieses Merkmal direkt ein Vergleich der Responder mit den Non-Respondern vorgenommen werden. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 4.3. Danach unterscheiden sich die Responder von Non-Respondern hinsichtlich des Bildungsstandes nur unwesentlich.

Tabelle 4.3: Bildungsstand nach Response-Status

Höchster Schulabschluss	Responder in der Basisbefragung (in %)	Non-Responder in der Basisbefragung (in %)
Haupt-/ Volksschule	29,2	24,0
Realschule (Mittlere Reife)/ POS	34,0	32,9
Fachhochschulreife	9,5	9,3
Hochschulreife (Abitur)	20,2	24,5
Anderer Abschluss/ (noch) kein	7,1	9,2

Non-Responder-Analyse

Um den möglichen Fehler abzuschätzen, der aus der Nicht-Beteiligung entsteht, wurde das Modell des verzögerten Antwortverhaltens auf die Frage nach der Besorgnis wegen der möglichen gesundheitlichen Wirkungen von Mobilfunksendeanlagen angewendet. Dieses Modell nimmt an, dass Personen, die spät auf die Zusendung des Fragebogens reagieren, den Non-Respondern ähnlicher sind, als solche, die spontan reagieren.

In Tabelle 4.4 ist der Anteil der "Besorgten" für drei Gruppen wiedergegeben: für die Früh-Responder, die mittleren Responder und die Spät-Responder. Der Anteil variiert zwischen 24,7% unter den Früh-Respondern und 31,9% bei den Spät-Respondern. Es gibt also einen Zusammenhang zwischen Besorgnis und Antwortverhalten. Dabei ist zu beachten, dass die Frage nach der Besorgnis erst am Ende des QUEBEB-Fragebogenteils zu finden war und somit vermutlich kein direkter Einfluss auf das Antwortverhalten entstehen konnte. Zudem spricht die Verblindung – d.h. die Unterbringung der Fragen zur Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen in einer Mehrthemenbefragung – gegen einen starken Selektionsbias.

**Tabelle 4.4: Non-Responder-Analyse nach dem Modell
des verzögerten Antwortverhaltens**

	n	Anteil Besorgte	Anzahl Besorgte
Früh-Responder	10.095	24,7%	2.493
Mittlere Responder	9.378	27,3%	2.560
Spät-Responder	10.574	31,9%	3.373
Non-Responder	21.397	31,9% ¹⁾	6.826
Summe	51.544		15.252
Anteil Besorgte:			
Beobachtet	28,5%		
Geschätzt	29,6%		

¹⁾ geschätzt

Nimmt man nun gemäß dem Modell des verzögerten Antwortverhaltens an, dass sich die Non-Responder wie die Spät-Responder verhalten, dann kann man für die Gesamtstichprobe eine "Korrekturschätzung" vornehmen, die in den beiden letzten Zeilen der Tabelle wiedergegeben ist. Geht man demnach von der beobachteten Prävalenz EMF-Besorgter in der Netto-stichprobe aus, dann ergibt sich ein Anteilswert von 28,5%. Verwendet man den Korrekturfaktor aus der Non-Responder-Analyse, dann ergibt sich ein etwas höherer Wert von 29,6%. Durch die Non-Response wird demnach in der auswertbaren Stichprobe das Ausmaß der Besorgnis wegen der möglichen gesundheitlichen Effekte von Mobilfunksendeanlagen leicht unterschätzt.

4.3.1.3 Fragebogen

Die Basisbefragung wurde mit einem schriftlichen Fragebogen im Rahmen einer mehrere Themen umfassenden Befragung durchgeführt.

Der Fragebogen enthielt folgende Fragenkomplexe:

- Eine 38 Beschwerden umfassende Beschwerdenliste, die von Frick und Mitarbeitern im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms entwickelt wurde und die alle diejenigen Beschwerden enthält, die in der Literatur im Zusammenhang mit der Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder genannt werden (im folgenden: "Frick-Liste").
- Neun Fragen zur Wohnumgebung und zur Wohnung, die im Zusammenhang mit der Entfernung von einer Mobilfunksendeanlage geeignet sind, ein approximatives Expositionsmaß abzuschätzen. Das zugrunde liegende Modell entstammt dem Forschungsprojekt „Bestimmung der Exposition von Personengruppen die im Rahmen von Quebeb untersucht werden“ (ECOLOG). Die Fragenformulierungen wurden mit ECOLOG abgestimmt.
- Je eine Frage zur Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen sowie zur Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen. Diese Fragen wurden an das Ende des QUEBEB-Fragebogenteils gestellt, um mögliche Sensibilisierungseffekte für die Beschwerdenliste auszuschließen.
- Die Angaben zur soziodemographischen Situation der Befragten und weitere statistische Angaben wurden dem allgemeinen Fragebogenteil entnommen.

4.3.1.4 Datenverarbeitung

Die Fragebögen wurden gescannt und durchliefen anschließend ein Prüfprogramm. Unvollständig ausgefüllte Fragebögen wurden aus der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen. Nicht plausible Werte, z.B. Überschreitungen zulässiger Werte beim Alter, wurden als fehlende Werte interpretiert. Bei der Beantwortung der Frick-Liste mit 38 Beschwerden stellt sich dies folgendermaßen dar:

Viele Interviewte haben manche Beschwerden gar nicht angekreuzt. Dies kann geschehen, weil die Frage nicht verstanden wurde, oder der Interviewte von der Annahme ausging, dass nicht angekreuzte Beschwerden bedeuten, dass diese nicht vorliegen. Deshalb wurde zwecks Ausschluss und Imputation folgender Algorithmus verwendet:

1. Der Proband hat keine Beschwerde angekreuzt → Ausschluss
2. Der Proband hat einige Beschwerden angekreuzt, darunter welche mit dem Wert 1 = „gar nicht“ → Ausschluss
3. Der Proband hat einige Beschwerden angekreuzt, darunter *keine* mit dem Wert 1 = „gar nicht“ → restliche nicht angekreuzte Beschwerden auf 1 setzen.

Die Daten wurden in einen SPSS-Systemfile eingelesen. Eine tabellarische Grundausswertung des Fragebogens befindet sich im Anhang.

4.3.2 Datenbank der Bundesnetzagentur

Das bundesweit angelegte Studiendesign der Basiserhebung erfordert für die Auswertung der Entfernungsabschätzung vom Wohnhaus zur nächsten Mobilfunksendeanlage sowie der Expositionsabschätzung über ein Expositionsmaß Informationen aus einer Datenbank, die Angaben über den Standort und die technischen Informationen der Mobilfunksendeanlagen beinhaltet. In Betracht kam bei diesen Vorgaben die Standortdatenbank der Bundesnetzagentur. Diese Datenbank mit Informationen zu den einzelnen Standorten der Sendeanlagen wurde nach schriftlicher Befürwortung der Netzbetreiber und der Genehmigung durch die zuständigen Behörden der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt.

Die Datenbank enthält Informationen zu mehr als 51.000 Mobilfunksendeanlagen und zu insgesamt 279.708 Antennen (Datensätze). Die vierzehn Variablen der Datenbank sind in Tabelle 4.5 aufgeführt.

Tabelle 4.5: Variablen in der Datenbank der Bundesnetzagentur

Bezeichnung	Format	Beschreibung
STOB_NR	Num	Standortbescheinigungsnummer der Sendeanlage
PLZ	Char	Postleitzahl
ORT	Char	Ort
STRASSE	Char	Straße
HAUSNUMMER	Char	Hausnummer
KOORD_OST	Num	Östliche Koordinate (wgs84)
KOORD_NORD	Num	Nördliche Koordinate (wgs84)
BETREIBER	Char	Netzbetreiber
FUNKSYSTEM	Char	Funksystem (GSM 900, 1800, UMTS)
MONTAGEHOEHE	Char	Montagehöhe
HAUPTSTRAHLRICHTUNG	Char	Hauptstrahlrichtung
SI_ABSTAND_HAUPTSTRAHLRICHTUNG	Char	Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung
SI_ABSTAND_HORIZONTAL	Char	Horizontaler Sicherheitsabstand
SI_ABSTAND-VERTIKAL	Char	Vertikaler Sicherheitsabstand

Die erforderlichen Informationen für die Schätzung der Exposition durch das Expositionsmaß des ECOLOG-Instituts (siehe Abschnitt 4.3.4) sind somit in der Datenbank vorhanden (Tabelle 4.6).

Das Datenmaterial – insbesondere die Geokodierung – ist wichtig für die Verknüpfung der Konfigurationen der Sendeanlage mit den aus der Befragung gewonnenen Ergebnissen.

Tabelle 4.6: Erforderliche technische Daten für die Schätzung der Exposition

Technische Daten	
• Netzbetreiber	• Montagehöhe
• Standort	• Hauptstrahlrichtung
• Mobilfunknetz (GSM900, GSM1800, UMTS)	• Sicherheitsabstände in den Hauptstrahlrichtungen
• Zahl der Antennen	• Vertikale Sicherheitsabstände

Die Datenbank wurde für die vorgesehenen Auswertungen aufbereitet. Folgende Schritte wurden dabei durchgeführt:

- Für alle Sendeanlagen wurden eindeutige Identifikationsnummern vergeben und die Antennen als Zusatz in der Identifikationsnummer fortlaufend nummeriert.
- Die Angaben zu den Sicherheitsabständen und zur Montagehöhe wurden in ein Zahlenformat konvertiert.
- Alle Datensätze, die Angaben zu Sendeanlagen in U-Bahnhöfen enthielten oder andere „indoor“-Anlagen beschreiben, wurden gelöscht.
- Zweifelhafte Einträge zu den Hauptstrahlrichtungen konnten teilweise direkt korrigiert werden, teilweise erfolgte eine Rückfrage bei den Netzbetreibern bzw. der Regulierungsbehörde.
- Fehlende oder unklare Einträge zum Funksystem wurden geprüft und ggf. korrigiert.
- Soweit möglich, wurden fehlerhafte Adressenangaben (Postleitzahlen und Orte) geprüft und neu abgeglichen. Hierzu wurde eine Postleitzahlen-CD der Deutschen Post AG verwendet, auf der alle Postleitzahlen sowie Orte bzw. Ortsteile im ASCII-Format enthalten sind.
- Insgesamt kann die Datenqualität der Datenbank trotz einiger Fehler als gut bezeichnet werden.

4.3.3 Geokodierung

Ein Problem in der Umweltepidemiologie ist die oft fehlende Möglichkeit, Exposition und individuelle Belastung zu verknüpfen. Als ein Beispiel für die fehlenden Verknüpfungsmöglichkeiten kann ein Indikator aus dem aktuellen Indikatorensatz für die Gesundheitsberichterstattung der Länder (Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden 2003) dienen. So werden mittels fest installierter Messstationen kontinuierliche telemetrische Luftqualitätsmessungen durchgeführt. Die Luftqualität bzw. die Luftbelastungen werden durch das Messnetz jedoch nur weiträumig erfasst. Ableitungen hinsichtlich kleinräumiger Belastungen sind daher nicht zulässig. Aussagen zu einer individuellen Belastung können ebenso wenig getroffen werden.

Ähnlich stellt sich die Situation für die Forschung im Bereich elektromagnetischer Felder dar, wenn ein Bevölkerungsbezug hergestellt werden soll. Dies gilt auch für die Frage, welcher Anteil der deutschen Bevölkerung durch die elektromagnetischen Felder von Mobilfunksen-

demasten überhaupt exponiert sein kann. Gerade hier sind genaue Daten für die Expositionsbestimmung wesentlich, weshalb diesem Bereich in der vorliegenden Studie besondere Beachtung geschenkt wurde.

Das ECOLOG-Institut in Hannover hat Messreihen zur Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunksendemasten in zahlreichen Haushalten durchgeführt. Im Rahmen dieser Messungen zeigte sich, dass die hochfrequente Exposition ab einer Entfernung von 500 m zu einem Mobilfunksendemast messtechnisch kaum noch nachweisbar ist. Anhand der Ergebnisse dieser Messreihen kann davon ausgegangen werden, dass Haushalte, die mehr als 500 m von einer Mobilfunksendeanlage entfernt sind, als „sicher nicht exponiert“ zu betrachten sind. Innerhalb des Umkreises von 500 m um einen Mobilfunksendemast kann sich die Expositionssituation sehr unterschiedlich darstellen.

Um eine Aussage über den Anteil der „sicher nicht exponierten“ Bevölkerung treffen zu können und zur Durchführung von Expositionsmodellierungen im Bereich unter 500 m Abstand, müssen die Abstände zwischen Sendemasten und Haushalten bestimmt werden. Die einzige Möglichkeit einer solchen Abstandsbestimmung im Rahmen einer bundesweiten Studie liegt im Verfahren der Geokodierung. Das bei der Geokodierung angewendete Koordinatensystem ermöglicht es, jeden dreidimensionalen Punkt auf der Erde auf einer zweidimensionalen Landkarte darzustellen. Benutzt werden unterschiedliche Koordinatensysteme. In Deutschland werden die Koordinatensysteme wgs84¹ sowie Gauß-Krüger am häufigsten benutzt, wobei das wgs84-Koordinatensystem aufgrund weltweiter Anwendung zunehmend wichtiger wird.

Die Angaben im wgs84-Koordinatensystem erfolgen in Grad, Gradminuten und Gradsekunden. Ausgangspunkte sind dabei in Europa die Längen- und Breitengrade östlicher und nördlicher Richtung. Im Gegensatz dazu basieren die Angaben im Gauß-Krüger-System auf sogenannten Rechts- und Hochwerten. Bezugspunkte dieses Systems sind der „Äquator“ und für Deutschland der zweite, dritte und vierte Meridianstreifen. Für jeden Meridianstreifen, die alle vom Nord- bis zum Südpol verlaufen, werden drei Längengrade zusammengefasst. Ein Meridianstreifen erstreckt sich damit immer um 1° 30min in westlicher Richtung und um 1° 30min in östlicher Richtung. Seine Grenzen, die Meridiane, liegen somit immer 3 Grad auseinander. So schließt der dritte Meridianstreifen den achten und den zehnten Längengrad ein. Bei 0 Grad liegt der Nullmeridian. In östlicher Länge nimmt die Kennziffer des Meridianstreifens zu, in westlicher Länge wird von Null an abwärts gezählt. Zwischen den Meridianstreifen liegen sogenannte Überlappungszonen. In Deutschland umfassen diese Überlappungszonen 20 Bogenminuten. Die Zonen sind für Abbildungen erforderlich, die über die Grenzen des Meridianstreifens hinausgehen. Praktisch haben die Überlappungszonen den Vorteil, dass damit keine Koordinatenumrechnung von einem Streifen in den Nachbarstreifen notwendig ist.

Die Abstände vom Äquator (Hochwert) bzw. vom (dritten) Meridian (Rechtswert) werden in Metern angegeben. Hierbei ist ein Punkt auf dem Äquator als 0 Meter definiert, ein Punkt genau auf dem (dritten) Meridian jedoch als 500.000 Meter. Der Vorteil dieser Definition liegt darin, dass der Rechtswert des Gauß-Krüger-Koordinatensystems so nicht negativ werden kann. Ein weiterer Vorteil des Gauß-Krüger-Koordinatensystems besteht darin, dass die Koordinaten rechtwinklig zueinander stehen. Das heißt, die Werte werden parallel zu den Achsen abgelesen und nicht anhand des tatsächlichen, bogenförmigen Verlaufs der Längen- und Breitengrade. Daher kann zur Berechnung der Abstände zwischen den Haushalten und den Mobilfunksendemasten, also zwei Koordinaten, der Satz des Pythagoras angewendet werden.

1 wgs = World Geodetic System

Da die Genauigkeit der Koordinaten von der Erdkrümmung abhängt und diese auf verschiedenen Kontinenten unterschiedlich ist, wird für Gauß-Krüger-Koordinaten in Deutschland häufig das Bessel-Ellipsoid² verwendet, welches gut mit der mittleren Erdkrümmung des europäischen Kontinents übereinstimmt.

Folgende Informationen standen zur Abschätzung der Lage von Mobilfunksendeanlagen und der Lage der Wohnungsadressen zur Verfügung:

- Geokodierte Daten der Mobilfunksendeanlagen im wgs84-Format,
- Haushalte, geokodiert durch die Post Direkt GmbH Gauß-Krüger-Koordinaten.

Zur Verknüpfung beider Datensätze müssen zunächst alle Daten in ein identisches Koordinaten-System transformiert werden. Hierfür bieten sich Gauß-Krüger-Koordinaten an, da mit diesen eine horizontale Abstandsbestimmung einfach ist (Satz von Pythagoras). Bei Umrechnungen in andere Koordinatensysteme ergeben sich immer Ungenauigkeiten. Diese belaufen sich auf bis zu 3 m. Zusätzlich sind die Daten der Mobilfunksendeanlagen mit Fehlern behaftet. In Kapitel 4.3.3.5 wird dieses Problem näher behandelt.

Des Weiteren ist bei der Bestimmung der Koordinaten der einzelnen Haushalte auch mit Ungenauigkeiten zu rechnen. Die Ungenauigkeiten entstehen also auf drei Ebenen:

- Transformation der WGS84 Daten in Gauß-Krüger-Koordinaten,
- Bestimmung der Haushaltskoordinaten,
- Gelieferte Koordinaten in der Datenbank der Bundesnetzagentur .

Das Expositionsmaß ist auf exakte Daten angewiesen, die die 10m-Grenze nicht überschreiten dürfen, da der Abstand in die Berechnungen eingeht. Aufgrund dessen wird in einigen Unterkapiteln diese Grenze verwendet.

4.3.3.1 Daten der Post Direkt GmbH

Die Haushalte des Panels wurden zunächst von der Post Direkt GmbH georeferenziert, da die Post Direkt GmbH für die gesamte Bundesrepublik Deutschland Adressenangaben liefern kann. Nachfragen beim Unternehmen haben jedoch ergeben, dass die Daten durch Interpolation über ein digitales Straßennetz gewonnen werden. Das heißt, wenn wenige Koordinaten für eine Straße vorliegen, werden die fehlenden Koordinaten mittels Interpolation berechnet. Da die Strassen in Städten homogener besetzt sind als in ländlichen Gebieten, sind hier kleinere Abweichungen zu erwarten.

In Rahmen einer Doktorarbeit (Schulz 2005), die uns von der Post Direkt GmbH zur Verfügung gestellt wurde, ist die Genauigkeit der Geokoordinaten der Post Direkt GmbH folgendermaßen überprüft worden:

Die Angaben der Post Direkt GmbH wurden anhand der Automatischen Liegenschaftskarten überprüft. Die Automatische Liegenschaftskarte führt Angaben über die Verortung von Flurstücken mit Angaben über Eigentümer, Nutzungsart und Adresse zusammen. Die Überprüfung geschah beispielhaft in der Ortschaft Oberlichtenau (PLZ 01936), wo 1.788 Geokoordinaten vorlagen.

Das Vorgehen war, die Koordinatenangaben der Post Direkt GmbH so lange zu „verschieben“, bis die Hausnummer mit der der Automatischen Liegenschaftskarte übereinstimmte.

Bei einer minimalen Verschiebung von mindestens 20 m und maximal 100 m wurden 1.367 (76%) aller Koordinaten verschoben.

2 Eingeführt 1841 von Friedrich Wilhelm Bessel

Da die Studie hinsichtlich der Anwendbarkeit des Expositionsmaßes auf Abweichungen von maximal 10 m angewiesen ist, ist die Nutzung der Daten der Post Direkt GmbH für die angestrebte Untersuchung mit zu großen Ungenauigkeiten behaftet.

4.3.3.2 Daten der Bundesnetzagentur

Die Daten der Bundesnetzagentur liegen als WGS84-Koordinaten vor. Grundsätzlich gilt bei WGS84-Daten im Bereich von Deutschland, dass eine Erhöhung um eine Sekunde beim Längengrad eine Abweichung von rund 19m, eine Sekunde beim Breitengrad eine Abweichung um 30 m erzeugt. So können selbst bei exakten Messungen aufgrund des Rundungsfehlers Abweichungen von mehr als 15 m entstehen. Des Weiteren sind die Einträge der Datenbank der Bundesnetzagentur abhängig von den Angaben der Mobilfunknetzbetreiber, die die Koordinaten in die Standortbescheinigung eingetragen haben. Rückfragen bei den Betreibern haben ergeben, dass die Bestimmung der Koordinaten auf verschiedenen Wegen geschehen kann. Es ist möglich, dass die Koordinaten mittels eines GPS-Gerätes, georeferenzierten Karten (in den neuen Ländern wurde oft auch mit militärischem Kartenmaterial gearbeitet) oder Luftbildaufnahmen bestimmt wurde. Es ist auch möglich, dass der Subunternehmer, der die Antenne aufstellt, die Daten liefert.

Sowohl die Bundesnetzagentur als auch die Netzbetreiber haben uns darauf hingewiesen, die Qualität dieser geokodierten Daten zu validieren. Daher wurden in einer Unterstudie in Bielefeld rund 90 Messungen mit einem GPS-Gerät durchgeführt.

Ein Vergleich mit den der Stadt Bielefeld zur Verfügung stehenden Koordinaten und den Koordinaten der Bundesnetzagentur zeigt teilweise erhebliche Abweichungen zu den Messungen, aber auch zwischen den vorhandenen Koordinaten (Tabelle 4.7).

- Untersuchtes Gebiet: Stadt Bielefeld
- Anzahl der geokodierten und gemessenen Punkte: 92
- Verwendetes Gerät: Für die Messungen wurde ein „Garmin eMap“, Baujahr 2001, benutzt. Vom Hersteller ist angegeben, dass die Messgenauigkeit im Bereich von 15 Metern liegt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Angabe zur Messgenauigkeit aus einer Zeit stammt, in der aus militärischen Gründen bewusst ein Fehler (Ungenauigkeit) im GPS-Satelliten-System enthalten war und dieser Fehler inzwischen nicht mehr vorhanden ist.

Tabelle 4.7: Zusammenfassung der Messungen in Bielefeld

Vergleich von Angaben der Bundesnetzagentur mit Messungen		
	<= 10 m	>10 m
Messung (Anzahl)	5	87

- Mittlere Abweichung der Wurzel der Abstände (in Metern): 315,57
- Standardabweichung der Wurzel der mittleren Abstände (in Metern): 1.068,40
- Minimum (in Metern): 0; Maximum (in Metern): 9.829,00

4.3.3.3 Koordinatentransformation mittels der Software Transdat

Die Transformation der Koordinaten mittels der Software Transdat ist unproblematisch. So hat die zweimalige Transformation der gleichen 50 Koordinaten von WGS84 in Gauß-Krüger Abweichungen im Millimeterbereich gezeigt. Nach Angaben des Software-Herstellers können Abweichungen von bis zu 3 m vorliegen, die Abweichungen sind aber nach eigenen Abschät-

zungen wesentlich geringer. Daher wird diese Ebene der Ungenauigkeit nicht weiter berücksichtigt.

4.3.3.4 Georeferenzierungen des Landesvermessungsamtes NRW

Die amtliche Georeferenzierung ist wesentlich genauer als die verfügbaren Referenzierungen der Post Direkt GmbH und der Bundesnetzagentur (vgl. Abbildung 4.2). Nur Flurstücke in unbebauten Gebieten könnten sich als problematisch erweisen. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass lediglich vereinzelt Mobilfunksendeanlagen auf unbebauten Flurstücken errichtet werden. Diese Flurstücke liegen meist nicht in der Nähe von bebauten Gebieten. Somit werden gerade diese Sendeanlagen nicht für die Berechnung des Expositionsmaßes benötigt.

Stand Januar 2005

Bundesland	Anzahl Hauskoordinaten	Verfügbarkeit in % der Landesfläche	Datenqualität ¹
Nordrhein-Westfalen	3.851.216	ca. 96%	A = 83%, B = 17%
Bayern	3.014.158	100%	A = 100%, B = 0%
Baden-Württemberg	2.544.031	ca. 98%	A = 100%, B = 0%
Niedersachsen	2.155.150	ca. 96%	A = 100%, B = 0%
Hessen	1.383.018	100%	A = 100%, B = 0%
Rheinland-Pfalz	1.118.631	ca. 95%	A = 100%, B = 0%
Sachsen-Anhalt	583.460	100%	A = 100%, B = 0%
Hamburg	260.313	100%	A = 100%, B = 0%
Bremen	162.936	100%	A = 66%, B = 34%
Brandenburg	ca. 100.000	ca. 10%	A = 100%, B = 0%

¹ Datenqualität: A = Koordinate innerhalb des Hausumrings
B = Koordinate innerhalb des Flurstücks

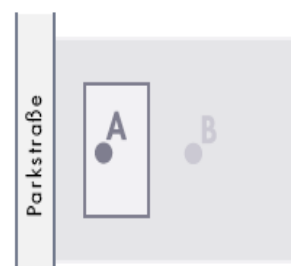


Abbildung 4.2: Über das Landesvermessungsamt NRW verfügbare Koordinaten

Für eine Validierung der Georeferenzen der Bundesnetzagentur und der Deutschen Post stehen damit die sogenannten Hauskoordinaten des Landesvermessungsamtes NRW zur Verfügung. Sollten sich bei der Validierung größere Abweichungen (>10 m) ergeben als für die Expositionsmodellierungen akzeptabel sind, müssen die Wohnadressen der Panel-Teilnehmer und die Standorte der Sendeanlagen mit amtlichen Koordinaten georeferenziert werden.

Bei den Hauskoordinaten handelt es sich um Koordinaten, die entweder innerhalb des Hausumrings liegen (Datenqualität A) oder zumindest innerhalb des Flurstückes (Datenqualität B). Die Koordinaten werden in einer Datenbank gehalten, in der neben den Hauskoordinaten für Nordrhein-Westfalen auch die Hauskoordinaten für weitere Bundesländer verfügbar sind. Die Daten werden regelmäßig aktualisiert. Die gute Qualität der Daten ergibt sich auch aus der Tatsache, dass keine Hauskoordinaten durch Interpolation bestimmt werden.

Der Abbildung 4.2 (Seite 32) lässt sich eine insgesamt gute Flächendeckung in neun Bundesländern entnehmen. Die fehlende Flächendeckung verteilt sich jeweils gleichmäßig über die Bundesländer. Eine Ausnahme ist das Bundesland Brandenburg. Hier beträgt die Flächendeckung zur Zeit nur 10 %. Das heißt, für Brandenburg sind bisher nur in einigen Gebieten Hauskoordinaten bestimmt worden. Entsprechend verteilt sich die fehlende Flächendeckung nicht gleichmäßig über das Bundesland. Für die vorgesehenen Georeferenzierungen kommen Adressen aus Brandenburg daher nicht in Betracht. Das Bundesland Berlin wird sich – bei einer Flächendeckung von 100 % - ab dem 2. Quartal 2005 an der zentralen Datenbank der Hauskoordinaten beteiligen. Auch die anderen Bundesländer halten Hauskoordinaten vor. Hier ist ein Beitritt zur zentralen Datenbank jedoch noch nicht absehbar.

4.3.3.5 Validierungsstudie zu Geokoordinaten

Aufgrund der oben dargestellten Informationen und der insgesamt großen Abweichungen bei den zum Zeitpunkt der Validierungsstudie verfügbaren Koordinaten wurde das Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen kontaktiert und vereinbart, einen oder gegebenenfalls zwei Testläufe durchzuführen. Für den ersten Probelauf wurden 85 Adressen von in der Stadt Bielefeld aufgestellten Sendeanlagen gemäß der vorgegebenen Reihenfolge bei den Adressenangaben an das Landesvermessungsamt gesendet. Dort konnten 79 Adressen georeferenziert werden, bei sechs Adressen gab es Identifikationsprobleme. Es handelte sich hierbei um ein Flurstück sowie um fünf Adressen mit falschen Angaben zur Hausnummer. Eine Überprüfung der fünf Adressen anhand des Bielefelder Internet-Stadtplanes bestätigte, dass die angegebenen Hausnummern in Bielefeld nicht existieren. Soweit möglich, werden vom Landesvermessungsamt bei nicht existierenden Hausnummern jedoch die nächst höhere oder niedrigere Nummer georeferenziert bzw. die erste tatsächlich existierende Hausnummer. So war für eine Straße die Hausnummer 10 aus den Adressenangaben der Stadt Bielefeld übernommen worden, die erste existierende Nummer war jedoch die Hausnummer 12. Für diese Hausnummer wurde dann eine Georeferenzierung durchgeführt.

Von den verbleibenden 79 Adressen lagen für 67 Adressen sowohl Messungen als auch Koordinaten der Stadt Bielefeld und der Bundesnetzagentur vor. Für diese 67 Adressenangaben wurden die Abstände zwischen den Koordinaten der Referenzdatenbank des Landesvermessungsamtes und den per Messung bestimmten Koordinaten, den Koordinaten der Stadt Bielefeld und der Bundesnetzagentur bestimmt (Tabelle 4.8).

Tabelle 4.8: Abstände der Koordinaten der Referenzdatenbank NRW zu den anderen verfügbaren Georeferenzierungen

Durchschnittliche Abstände zu den Koordinaten der Referenzdatenbank in Metern				
Anzahl Adressen	Messungen	Stadt Bielefeld	Bundesnetzagentur	Kommentare
67	41	1383	219	
64	39	1444	222	Ohne bei der Messung nicht sichtbare Sendemasten
56	36	1543	203	Ohne anhand des Stadtplanes identifizierte große Gebäude
56	29	-	-	Korrigiert um die Hälfte des bei den Messungen geschätzten Abstandes zur Antenne

Um den Einfluss verschiedener Faktoren zu bestimmen, wurden die drei Messungen aus der Auswertung herausgenommen, bei denen die Existenz eines Sendemasts nicht durch ihre Sichtbarkeit belegt werden konnte. Als nächstes wurden die acht Daten nicht betrachtet, die – soweit anhand des Stadtplanes von Bielefeld nachvollziehbar - sehr wahrscheinlich an großen Gebäuden gemessen wurden.

Die Abstände vom Messpunkt zum Sendemast waren vor jeder Messung geschätzt und dokumentiert worden. Da Schätzungen selbst kurzer Entfernungen mit großer Unsicherheit behaftet sind und zudem an dieser Stelle unterstellt wird, dass sich die Abstände grundsätzlich verringern, wurden im letzten Schritt die errechneten Abstände zwischen den Koordinaten des Landesvermessungsamtes und den gemessenen Koordinaten nur um die Hälfte des bei den Messungen geschätzten Abstandes zwischen Messpunkt und Mast korrigiert. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Koordinaten keinen Bezug zum Sendemast, sondern zu dem Gebäude haben, auf dem die Anlage montiert ist. Die Ergebnisse sprechen trotzdem eindeutig für die Koordinaten des Landesvermessungsamtes als Basis der geplanten Abstandsbestimmungen zwischen den Haushalten und den Sendeanlagen.

Da in der Datenbank des LVermA bisher nicht die Daten aller Bundesländer vorliegen, waren im Vorfeld alle Adressen aus den Bundesländern gefiltert worden, die bisher nicht in die Datenbank eingeschlossen sind. Hierzu wurden die ersten Stellen der Postleitzahlbereiche benutzt. Folglich konnten lediglich 23.364 der insgesamt 30.047 Adressen des Haushaltspanels zur Geokodierung aufbereitet werden.

Koordinaten des Haushaltspanels

Rund 9 % (2.024 der 23.364) von TPI Infratest an das LVermA übermittelte Adressen des Haushaltspanels konnten nicht geokodiert werden, da die entsprechenden Hauskoordinaten der beteiligten Bundesländer noch nicht in der Datenbank enthalten sind.

Der durchschnittliche Abstand, der sich bei einer Gegenüberstellung der 21.186 Koordinaten ergibt, die sowohl von der Post als auch vom Landesvermessungsamt referenziert wurden, liegt bei 108,9 Meter.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob die 9 % fehlenden Daten des Landesvermessungsamtes in regionalen Clustern vorzufinden sind. Das heißt, die 21.340 vom LVermA georeferenzierten Daten des Haushaltspanels wurden dahingehend analysiert, ob sich Regionen finden lassen, in denen überdurchschnittlich viele Referenzierungen nicht durchgeführt werden konnten. Für die Überprüfung wurden die ersten zwei Stellen der Postleitzahl berücksichtigt.

In

Tabelle 4.9 sind alle Postleitzahlbereiche, die mehr als 15 % nicht kodierte Adressen aufwiesen, durch die Angabe des jeweiligen Bundeslandes hervorgehoben (ausgenommen Anzahlen ≤ 2). Dabei zeigte sich, dass im wesentlichen fehlende Hauskoordinaten des Landes Baden-Württemberg für die hohen Anteile an nicht kodierten Daten ursächlich sind.

Tabelle 4.9: Haushaltspanel: Anzahl nicht georeferenzierter Adressen nach Plz-Bereich

Plz Bereich	Kodierte Adres-sen	Nicht kodierte Adres-sen	Summe Adres-sen	% nicht kodierte Adres-sen	Bundesland	Plz Bereich	Kodierte Adres-sen	Nicht kodierte Adres-sen	Summe Adres-sen	% nicht kodierte Adres-sen	Bundesland
6000	574	81	655	12,4		59000	451	32	483	6,6	
14000	1	1	2	50,0		60000	73	4	77	5,2	
16000	2	0	2	0		61000	153	20	173	11,6	
20000	77	1	78	1,3		63000	448	38	486	7,8	
21000	290	21	311	6,8		64000	221	10	231	4,3	
22000	358	4	362	1,1		65000	330	30	360	8,3	
26000	513	41	554	7,4		66000	90	5	95	5,3	
27000	371	21	392	5,4		67000	299	30	329	9,1	
28000	264	11	275	4,0		68000	189	21	210	10,0	
29000	209	26	235	11,1		69000	167	28	195	14,4	
30000	229	14	243	5,8		70000	235	36	271	13,3	
31000	415	19	434	4,4		71000	297	88	385	22,9	BW
32000	337	16	353	4,5		72000	296	49	345	14,2	
33000	312	22	334	6,6		73000	234	78	312	25,0	BW
34000	292	42	334	12,6		74000	420	95	515	18,4	BW
35000	478	56	534	10,5		75000	147	20	167	12,0	
36000	209	20	229	8,7		76000	312	62	374	16,6	BW, RP
37000	290	29	319	9,1		77000	133	14	147	9,5	
38000	418	25	443	5,6		78000	190	51	241	21,2	BW
39000	284	36	320	11,3		79000	243	46	289	15,9	BW
40000	276	12	288	4,2		80000	95	2	97	2,1	
41000	321	24	345	7,0		81000	113	2	115	1,7	
42000	217	10	227	4,4		82000	232	4	236	1,7	
44000	379	25	404	6,2		83000	237	14	251	5,6	
45000	534	32	566	5,7		84000	202	13	215	6,0	
46000	364	22	386	5,7		85000	372	20	392	5,1	
47000	437	24	461	5,2		86000	345	8	353	2,3	
48000	427	55	482	11,4		87000	146	1	147	0,7	
49000	310	41	351	11,7		88000	239	52	291	17,9	BW, B
50000	347	19	366	5,2		89000	165	45	210	21,4	BW, B
51000	296	20	316	6,3		90000	193	2	195	1,0	
52000	369	32	401	8,0		91000	395	24	419	5,7	
53000	418	48	466	10,3		92000	215	12	227	5,3	
54000	163	19	182	10,4		93000	191	2	193	1,0	
55000	212	32	244	13,1		94000	268	12	280	4,3	
56000	275	31	306	10,1		95000	256	27	283	9,5	
57000	302	18	320	5,6		96000	236	10	246	4,1	
58000	392	33	425	7,8		97000	550	34	584	5,8	
						Summe	21.340	2.024	23.364		

BW = Baden-Württemberg, B = Bayern, RP = Rheinland-Pfalz

Koordinaten der Mobilfunksendeanlagen

Die Koordinaten der Mobilfunksendeanlagen wurden ebenfalls neu georeferenziert. Von 50.861 Mobilfunksendeanlagen lagen die Daten vor. Aufgrund der Tatsache, dass nicht von

allen Bundesländern Koordinaten beim Landesvermessungsamt vorgehalten werden, wurden nach entsprechender Vorauswahl insgesamt 31.477 Daten zur Georeferenzierung an das Landesvermessungsamt gesendet. Vorab waren die Flurstücke, soweit eindeutig gekennzeichnet, bereits aus dem Gesamtdatensatz entfernt worden (N=8.492). 10.857 (34,5 %) Adressen konnten nicht referenziert werden.

Die Gründe für den insgesamt geringen Anteil an georeferenzierten Adressen aus der Vorauswahl (31.477) sind vielschichtig. Hier spielen fehlende Hausnummern eine große Rolle. Außerdem finden sich viele Eintragungen wie „Am Bahnhof“, „Am Heizwerk“, „Am Steinbruch“, „Gewerbegebiet“, „Industriegebiet“, „Windkraftanlage“, „Windpark“ usw. Diese Eintragungen konnten ebenfalls nicht georeferenziert werden. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass, wie bereits erwähnt, bei Antennen, die zum Beispiel auf Flurstücken stehen, keine Georeferenzierungen durchgeführt werden konnten. Diese wurden erst gar nicht an das Landesvermessungsamt NRW weitergeleitet. Daher ist der Anteil der über das Landesvermessungsamt NRW georeferenzierten Daten doch relativ niedrig.

Auch bei den georeferenzierten Adressen der Sendeanlagen zeigen sich für einige Postleitzahlbereiche „Cluster“ mit nicht kodierbaren Daten. Geprüft wurden alle Postleitzahlbereiche, in denen mehr als 50 % der Referenzierungen nicht durchgeführt werden konnten. Eine Analyse nach Bundesländern zeigt wiederum, dass insbesondere Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz, aber auch Hessen, Bayern, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen bisher wenig vollständige Koordinaten an die Datenbank des Landesvermessungsamtes NRW geliefert haben.

Tabelle 4.10: Datenbank der Bundesnetzagentur: Anzahl nicht georeferenzierter Adressen nach Plz-Bereich

Plz Bereich	Kodierte Adres-sen	Nicht kodierte Adres-sen	Summe Adres-sen	% nicht kodierte Adresser	Bundes-land	Plz Bereich	Kodierte Adres-sen	Nicht kodierte Adres-sen	Summe Adres-sen	% nicht kodierte Adres-sen	Bundesland	
6000	449	467	916	51,0	SA	60000	348	115	463	24,8		
20000	193	44	237	18,6		61000	114	43	157	27,4		
21000	263	0	465	43,4		63000	334	123	457	26,9		
22000	465	212	677	31,3		64000	219	75	294	25,5		
26000	251	155	406	38,2		65000	367	116	483	24,0		
27000	185	151	336	44,9		66000	55	122	177	68,9	RP	
28000	212	93	305	30,5		67000	176	351	527	66,6	RP	
29000	106	131	237	55,3	NS, SA	68000	172	133	305	43,6		
30000	384	145	529	27,4		69000	104	79	183	43,2		
31000	283	170	453	37,5		70000	371	221	592	37,3		
32000	339	103	442	23,3		71000	267	227	494	46,0		
33000	401	130	531	24,5		72000	240	197	437	45,1		
34000	206	155	361	42,9		73000	302	223	525	42,5		
35000	113	91	204	44,6		74000	246	235	481	48,9		
36000	68	75	143	52,4	HS	75000	116	109	225	48,4		
37000	162	125	287	43,6		76000	267	305	572	53,3	BW, RP	
38000	395	264	659	40,1		77000	158	113	271	41,7		
39000	267	240	507	47,3		78000	159	182	341	53,4	BW	
40000	445	139	584	23,8		79000	278	192	470	40,9		
41000	430	109	539	20,2		80000	363	84	447	18,8		
42000	373	94	467	20,1		81000	302	48	350	13,7		
44000	675	148	823	18,0		82000	236	80	316	25,3		
45000	726	161	887	18,2		83000	247	115	362	31,8		
46000	371	125	496	25,2		84000	214	79	293	27,0		
47000	532	141	673	21,0		85000	364	121	485	24,9		
48000	425	137	562	24,4		86000	337	88	425	20,7		
49000	329	161	490	32,9		87000	150	53	203	26,1		
50000	446	151	597	25,3		88000	221	183	404	45,3		
51000	310	156	466	33,5		89000	206	154	360	42,8		
52000	319	125	444	28,2		90000	405	79	484	16,3		
53000	359	245	604	40,6		91000	308	124	432	28,7		
54000	69	162	231	70,1	RP	92000	144	94	238	39,5		
55000	162	198	360	55,0	RP	93000	168	80	248	32,3		
56000	124	295	419	70,4	RP	94000	220	84	304	27,6		
57000	104	66	170	38,8		95000	171	96	267	36,0		
58000	374	103	477	21,6		96000	158	99	257	38,5		
59000	489	153	642	23,8		97000	309	213	522	40,8		
Summe						20.620	10.857	31.477				

HS = Hessen, RP = Rheinland-Pfalz, NS = Niedersachsen, SA = Sachsen-Anhalt, BW = Baden-Württemberg

4.3.3.6 Zusammenfassung

Sowohl die Daten der Bundesnetzagentur als auch die der Post Direkt GmbH sind mit Ungenauigkeiten behaftet, die eine genaue Einschätzung der „Belastung“ der Bevölkerung aufgrund von Standortbestimmungen der Mobilfunksendeanlagen schwierig macht und eine

Verwendung des auf dieser Grundlage geschätzten Expositionsmaßes problematisch erscheinen lässt.

Es wurde daher nach genaueren geokodierten Daten gesucht. Als Möglichkeit ergab sich die Verwendung der amtlichen Haushaltskoordinaten des Landesvermessungsamtes Nordrhein-Westfalen, das für 6 Flächenstaaten und für zwei Stadtstaaten qualitativ hochwertige Koordinaten im Gauß-Krüger-Format anbietet. Fast alle Haushalte sind hier innerhalb des Hausumrings als Koordinaten erfasst.

Tabelle 4.11: Anteil der Geokoordinaten des Landesvermessungsamtes an allen Geokoordinaten

	Gesamt	Kodiert durch Landesvermessungsamt	Kodiert durch Deutsche Post AG	Kodiert durch Netzbetreiber	Nicht kodiert
Haushalte	30.047	21.340	8.465		242
	100,0%	70,0%	28,2%		0,8%
Sendeanlagen	50.861*	20.620		30.164*	77
	100,0%	40,6%		59,3%	0,2%

* inkl. 8.492 eindeutig identifizierte Flurstücke

Die Vollständigkeit der geokodierten Daten ist für das Haushaltspanel mit 68,0 % relativ hoch, für die Daten der Bundesnetzagentur mit 40,6 % jedoch niedrig. Werden nur die Bundesländer berücksichtigt, für die tatsächlich Koordinaten beim Landesvermessungsamt vorliegen, liegt die Vollständigkeit der Kodierungen bei 90,7 % für die Haushalte und bei 65,5 % für die Sendeanlagen (ohne eindeutig identifizierte Flurstücke). Daher wurde entschieden, in einer „gemischten“ Auswertung die Daten der Panelhaushalte und der Sendeanlagen zu verknüpfen. Dabei werden, falls vorhanden, die qualitativ besseren Daten des LVerMA verwendet und falls keine neuen Georeferenzierungen vorhanden sind, die Daten der alten Quellen (Post und Bundesnetzagentur) eingesetzt.

4.3.4 Verknüpfung mit dem Projekt des ECOLOG-Instituts

In der Studie „Bestimmung der Exposition von Personengruppen im Rahmen des Projektes QUEBEB“ wurde ein Expositionsmaß entwickelt, das es ermöglicht, Innenraumexpositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) ausgehend von Mobilfunksendeanlagen näherungsweise zu berechnen. Das Modell beruht auf rein physikalischen Faktoren (genaue Informationen sind dem Abschlussbericht der Studie des ECOLOG-Instituts zu entnehmen Neitzke et al. 2005). Diese Faktoren sind einerseits auf Daten der Mobilfunksendeanlagen und andererseits auf Daten der einzelnen Wohnung angewiesen. Weiterhin ist die Verknüpfung beider Datenquellen Grundlage der Berechnungen.

In diesem Abschnitt sollen die Methoden der Berechnung sowie internen Qualitätsüberprüfung des Expositionsmaßes und die Verknüpfung des Modells mit den Daten der Phase II der QUEBEB-Studie dargestellt werden.

Ziel dieses Modells war es die tatsächliche Exposition durch EMF von Mobilfunksendeanlagen der Probanden ohne direkte Messung in epidemiologischen Studien abzuschätzen. Teilweise werden hierfür Standardwerte verwendet (bspw. ein Transmissionsfaktor für Wände oder bebaute Umgebung). Weiterhin bedarf es zur Berechnung diverser Angaben aus der Standortbescheinigung wie u. a. Strahlungsleistung, Montagehöhe über Grund. Der dritte Teil

des Modells ist angewiesen auf Abstände und Winkel zwischen Immissions- und Emissionsort. Diese stehen aufgrund der Geokodierung zur Verfügung. Die benötigten Daten für das Modell sind:

- Durchnummerierte Standorte pro Haushalt
- Anzahl der Antennen des Standorts
- Durchnummerierte Anzahl der Antennen pro Standort
- Anzahl der Antennen im 500 m Umkreis des Haushalts
- Stadt-Land, Angabe aus Frage 2 des Fragebogens
- Umgebungsbebauung (Frage 3)
- Sichtbarkeit (Frage 6)
- Höhe des Haushalts über Grund, berechnet über die Angabe der Etage (Frage 5)
- Abstand Mobilfunksendeanlage – Haushalt (Geokodierung)
- Winkel der Mobilfunksendeanlage vom Haushalt aus gemessen (Nord über Ost)
- Aus den Angaben aus Frage 4 wurde der/die Winkel für das/die Fenster bestimmt
- System: GSM 900, GSM 1.800 oder UMTS
- Montagehöhe der Sendeanlage
- Hauptstrahlrichtung der einzelnen Antenne
- Sicherheitsabstand vertikal der einzelnen Antenne
- Sicherheitsabstand horizontal der einzelnen Antenne
- Sicherheitsabstand Hauptstrahlrichtung der einzelnen Antenne

Das Expositionsmaß bildet somit die Schnittstelle zwischen Befragung und Standortdatenbank der Bundesnetzagentur. Die Verbindung geschieht über die Geokodierung. Das Expositionsmaß beruht auf einer Modellrechnung, der eine Vielzahl von Annahmen zugrunde liegt und nicht auf Einzelmessungen. Es stellt also einen Schätzwert dar und wird daher im Folgenden „Expositionsmaß“ genannt.

4.3.4.1 Grundlagen für das Expositionsmodell

Grundlage für die rechnerische Abschätzung der Innenraumexposition sind Angaben, die aus drei Quellen stammen. Diese sind:

1. Datensatz der Mobilfunksendeanlagen der Bundesnetzagentur,
2. Fragebogen der Phase II und
3. Variablen, die durch Verknüpfung beider Datensätze entstehen.

Aus der Datenbank der Bundesnetzagentur werden benötigt:

- Koordinaten des Standorts,
- Montagehöhe der Mobilfunksendeanlage,
- Hauptstrahlrichtung der einzelnen Antenne, und
- System: GSM 900, 1.800 oder UMTS.

Im Rahmen des ECOLOG-Projekts wurden für die drei Mobilfunksysteme spezifische Standardparameter bestimmt für:

- Sendeleistungen,
- Antennencharakteristik und
- Downtilt.

Aus dem Fragebogen der Basiserhebung stammen die Selbstangaben der Probanden über:

- Urbanität,
- Umgebungsbebauung,
- Bebauung/ Vegetation vor den Fenstern,
- Höhe des Haushalts über Grund, berechnet über die Angabe der Etage und

- Himmelsrichtung der Schlafzimmerfenster, wo eine Abschätzung der jeweiligen Ausrichtung zur Mobilfunksendeanlage erfolgt.

Aus der Verknüpfung der Haushalte mit den Mobilfunksendeanlagen mittels Geokodierung gehen folgende Variablen hervor:

- Abstand Mobilfunksendeanlage(n) - Haushalt (Geokodierung),
- Anzahl der Antennen im 500 m Umkreis des Haushalts und
- Winkel der Mobilfunksendeanlage(n) vom Haushalt aus gemessen (Nord über Ost).

Aus diesen Daten werden unter Berücksichtigung empirisch ermittelter Parameter für die Dämpfung durch Umgebungsbebauung, Vegetation und Hauswände die Leistungsflussdichten am Ort des jeweiligen Haushalts berechnet (zur Modellherleitung siehe Abschlussbericht ECOLOG, Neitzke et al. 2005).

4.3.4.2 Interne Qualitätsprüfung

4.3.4.2.1 Angewandte Methodik

Die Qualitätsprüfung beruht auf dem Vergleich der näherungsweise berechneten Leistungsflussdichte mit den zugehörigen Messungen. Es handelt sich um die Messungen, auf deren Basis das Expositionsmodell berechnet wurde. Eine Validierung durch Messungen, die nicht gleichzeitig der Modellentwicklung dienten, wurde vom ECOLOG-Institut durchgeführt und ist dem Abschlussbericht des ECOLOG-Instituts zu entnehmen. Eine weitere, auf eine größere Anzahl von Messungen basierende Validierung ist geplant.

Zur Quantifizierung eines eventuell vorliegenden systematischen Fehlers wird der Bland-Altman-Plot verwendet. In diesem wird das logarithmierte Verhältnis zwischen Messung und Berechnung dem logarithmierten mittleren Abstand zwischen Messung und Berechnung gegenübergestellt. Der Plot ermöglicht das Auffinden von systematischen Fehlern. Zusätzlich wird eine lineare Regression durchgeführt, um den Grad der Über- bzw. Unterschätzung zu bewerten. Aufgrund des Logarithmierens des Verhältnisses konnten Messungen, die keine Exposition ergaben – also eine Leistungsflussdichte von 0 mW/m² – nicht berücksichtigt werden.

Weiterhin sind die Korrelation zwischen berechneten und gemessenen Werten sowie die Sensitivität und Spezifität dargestellt. Bei der Sensitivität handelt es sich um den Anteil derjenigen, die das Expositionsmaß dem oberen Perzentil zuordnet, dividiert durch alle, die nach den Messwerten zum oberen Perzentil gehören. Folglich beschreibt sie den Anteil, der durch das Expositionsmaß korrekt dem oberen Perzentil zugeordnet wird. Die Spezifität beschreibt den Anteil derjenigen, die das Expositionsmaß den anderen Perzentilen zuordnet, dividiert durch alle, die nach den Messwerten zu den unteren Perzentilen gehören. Anders ausgedrückt handelt es sich dabei um den Anteil, der durch das Expositionsmaß korrekt den unteren Perzentilen zugeordnet wird. Grundlage der Sensitivitäts- und Spezifitätsbestimmung ist die Einteilung der Messwerte in „exponiert“ und „weniger stark exponiert“. Die Einteilung beruht auf dem oberen 10 %-Perzentil der gemessenen Werte.

Zur Bewertung der Risikozunahme zwischen Exponierten und nicht Exponierten wird das Odds Ratio verwendet. Dazu wird das Ratio aus dem Verhältnis der Erkrankten und nicht Erkrankten innerhalb der Exponierten und der nicht Exponierten gebildet.

Ergebnis

610 Datenpaare stehen zur Analyse zur Verfügung. Die Darstellung des Bland-Altman-Plots beruht auf 596 Datenpaaren.

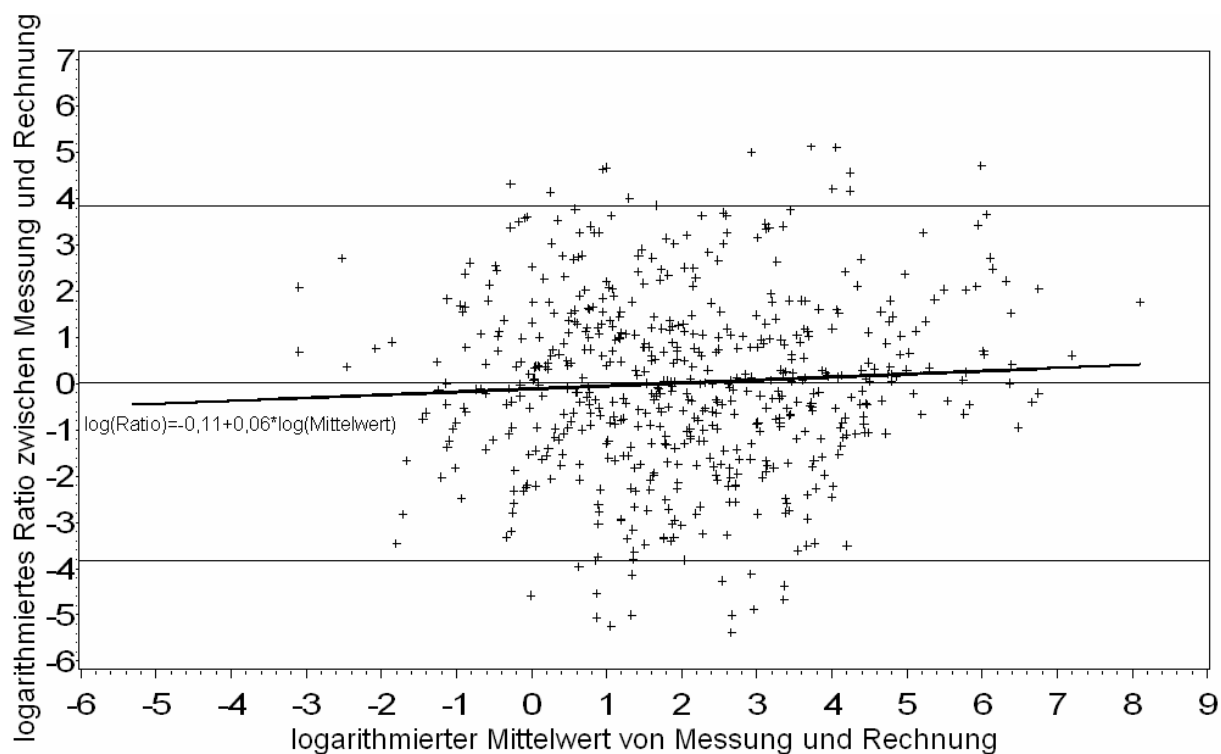


Abbildung 4.3: Bland-Altman-Plot der gemessenen und berechneten Leistungsflussdichten

Abbildung 4.3 zeigt eine gleichmäßige Verteilung der Werte auf x- und y-Achse. Das schlägt sich auch in der linearen Regression nieder (Regressionskoeffizient 0,06, p-Wert: 0,15). Jedoch herrschen Abweichungen zwischen Messung und Berechnung vor, was sich in der deutlichen Streuung auf der y-Achse niederschlägt.

Die Korrelation zwischen den logarithmierten gemessenen Werten und logarithmierten berechneten Werten liegt bei 0,59.

Die Berechnung von Sensitivität und Spezifität (Trennung erfolgt beim oberen 10 %-Perzentil: 0,0458 mW/m²) ist in der folgenden Tabelle 4.12 aufgeführt.

Tabelle 4.12: Sensitivität und Spezifität des Expositionsmaßes

		Messung	
		> oberes 10% Perzentil	≤ oberes 10% Perzentil
Rechnung	> oberes 10% Perzentil	33	28
	≤ oberes 10% Perzentil	28	521
Gesamt		61	549

Bei der Trennung ergibt sich eine Sensitivität von 54 % (33 : 61; vgl. Zahl bzw. Randsumme in Tabelle 4.13) und eine Spezifität von 95 % (521 : 549; vgl. Zahl bzw. Randsumme in Ta-

belle 4.13). Die Art der anhand Tabelle 4.12 berechneten Missklassifikation (so genannte nicht differenzielle Missklassifikation) wirkt sich auf die Risikoschätzung dahingehend aus, dass das tatsächliche Risiko unterschätzt wird, also Richtung Null geht. Die im Folgenden aufgeführten 95 %-Konfidenzintervalle beruhen auf der Annahme, dass von 1.600 Personen Daten vorliegen. Die Zahl 1.600 wurde gewählt, da in der Ergänzungsstudie bei dieser Anzahl von Personen eine Expositionsmessung mit einem EMF-Dosimeter durchgeführt werden sollte. Falls man die Messungen nicht durchgeführt hätte, wäre man auf die Berechnungen des Modells angewiesen gewesen. Der Effekt des Ersetzens der Messungen durch die Expositionsschätzung des Modells sollte aufgezeigt werden.

Wenn der wahre Effekt bei einem OR von zwei liegt (95 %-KI [1,4-2,9] bei 1.600 Probanden) und eine Beschwerdeprävalenz von 20 % und eine Prävalenz der Exposition von 10 % angenommen wird, dann wird durch die Missklassifikation nur ein Odds Ratio von 1,5 (95 %-KI [1,0-2,1]) messbar.

Das von ECOLOG erstellte Modell kann unter der Schwierigkeit der Aufgabe, Expositionen durch elektromagnetische Felder im Innenbereich von Häusern zu schätzen, als gut bewertet werden. Die von ECOLOG durchgeführte interne Prüfung der Übereinstimmung von gemessenen mit den durch das Modell berechneten Werten ergab bei 610 Wohnungen ein Kappa-Maß von knapp 0,5, wenn man diejenigen Wohnungen als „stärker exponiert“ klassifiziert, die im oberen 10%-Perzentil der gemessenen Werte liegen. Es liegt noch keine Überprüfung des Modells an durch Dritte gemessenen Leistungsflussdichten vor.

Bei einer Differenzierung nach verschiedenen Bebauungstypen fällt auf, dass v. a. bei der geschlossenen Bebauung mit Grünflächen am Haus sich das Kappa-Maß auf 0,31 verringert.

Bei der verdichteten Bebauung mit Grünflächen liegt der Korrelationskoeffizient sehr hoch. Diese Korrelation basiert aber in erster Linie auf einigen Ausreißern, die sowohl in den Messwerten als auch in den berechneten Werten hohe Expositionen aufweisen. Wenn diese Werte ausgeschlossen werden, sinkt die Korrelationskoeffizient erheblich. Dies verdeutlicht, dass gerade für die Expositionsabschätzung durch eine Gruppenbildung das Kappa ein besseres Maß darstellt, um die Anwendbarkeit des Expositionsmaßes für die Fragestellung in der QUEBEB-Studie zu bewerten (Tabelle 4.13).

Tabelle 4.13: Maßzahlen zur Bewertung des ECOLOG-Modells

	Alle	Bebauungstyp			
		Geschlossen	Verdichtet mit Grünflächen	Lockere mehrgeschossige Blockbebauung	Lockere Ein- und Zweifamilienhausbebauung
Anzahl der Messungen	610	185	116	127	182
Kappa*	0,49	0,64	0,31	0,57	0,53
Korrelationskoeffizient	0,64	0,48	0,86	0,86	0,74
Korrelationskoeffizient der log-transformierten Werte	0,59	0,49	0,75	0,64	0,58
Sensitivität*	0,54	0,67	0,38	0,64	0,58
Spezifität*	0,95	0,96	0,93	0,95	0,95
Anteil Panel-Haushalte (gewichtet) **		4,36%	17,69%	15,43%	62,53%

*beruht auf der Klassengrenze des oberen 10 %-Perzentils

** keine Angabe N=760

Die Sensitivität liegt für alle Bebauungstypen bei über 50 %, die Spezifität bei 95 %. Berücksichtigt man, dass zur Modellerstellung vor allem in Bereichen gemessen wurde, die auch messbare Expositionen durch EMF von Mobilfunksendeanlagen erwarten ließen, so ist eine Zunahme der Spezifität denkbar. „Nicht-Exponierte“ sind laut der Meinung von Experten ab einer Entfernung von mehr als 500 m von einer Mobilfunksendeanlage zu erwarten.

Fazit: Insgesamt können die Ergebnisse hinsichtlich der Expositionsabschätzung als sehr gut erachtet werden. Das Modell wurde von ECOLOG-Institut erarbeitet und die für die Berechnung notwendigen Variablen in Kooperation zusammengestellt. Ein Kappa für den Zusammenhang zwischen zwei nominalen Kategorien von 0,2-0,4 wird als fair (verdichtet mit Grünflächen), ein Kappa von 0,4-0,6 als moderater (lockere mehrgeschossige Bebauung und lockere Ein- und Zweifamilienhausbebauung) und ein Kappa von über 0,6 als substanzieller Zusammenhang (geschlossene Bebauung) bewertet (Possner et al. 1990).

4.3.4.3 Anwendung des Expositionsmaßes auf die Basiserhebung

Für alle Haushalte der Befragung, die innerhalb ihres 500 m Umkreises mindestens eine Mobilfunksendeanlage haben, wurden die Expositionen näherungsweise berechnet. Es wird mittels Histogramm die Verteilung dargestellt. Zusätzlich wird der Median für verschiedene Kategorien der Variablen „Anzahl Antennen“ bzw. „Standorte“, „Abstand nächste Mobilfunksendeanlage“, „Urbanität“ und „Sicht“ berechnet. Dabei wird der Median verwendet, da bei dieser rechtsschiefen Verteilung der Mittelwert nicht genutzt werden sollte.

Da das Expositionsmaß keine Ergebnisse liefert, wenn der Abstand zwischen Sendeanlage und Wohnung 0 m beträgt, konnten 14 Datenpaare, für die ein entsprechender Abstand bestimmt wurde, nicht in der weiteren Ergebnisdarstellung berücksichtigt werden. Weiterhin sind bei einigen Haushalten Probleme bei der Expositionsberechnung aufgetreten, so dass diese auch nicht in der Analyse bewertet werden konnten. Die Ergebnisse dieser Verknüpfung sind im Teil Ergebnis (Kapitel 4.4.3.2) dargestellt. Die mit dem Expositionsmaß ermittelten Expositionen werden in den folgenden Auswertungen nicht berücksichtigt, da im Rahmen der Basiserhebung keine Risikoanalysen durchgeführt werden. Die ermittelten Expositionen dienen ausschließlich dem Zweck der Deskription sowie der Auswahl der Studienregionen für die Vertiefungserhebung.

4.3.5 Statistische Auswertungen

Folgende Einflussgrößen standen für die statistische Auswertung zur Verfügung:

- Geschlecht
- Altersgruppen
- Familienstand
- Einkommen
- Höchster Schulabschluss
- Höchste Berufsausbildung
- Berufstätigkeit
- Beruf des Haushaltsvorstandes
- Haushaltsgröße
- Bundesland
- Gemeindegrößenklasse
- Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage
- Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen, Attribution von gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen)
- Beschwerdenscore der Frick-Liste

Eine detaillierte Auflistung der Kategorien der einzelnen Variablen befindet sich auf Seite 44.

Es sind zwei Fragestellungen zu bearbeiten: Zum einen, welche Faktoren die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen beeinflussen und zum anderen, inwieweit bestimmte Variablen mit den/dem Beschwerden/-score korrelieren. Dies wird in den folgenden Abschnitten behandelt.

4.3.5.1 Mit welchen Faktoren sind die Bedenken wegen Sendeanlagen assoziiert?

Zielgröße waren die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen. Für die Auswertungen wurde die Zielgröße folgendermaßen kategorisiert: „nicht besorgt“, „besorgt“, „beeinträchtigt“. Die in Tabelle 4.14 dargestellte Einteilung wird für die deskriptiven Auswertungen durchgängig verwendet.

Tabelle 4.14: Kategorisierung der Fragen zu den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen

		„Fühlen Sie sich durch die EMF, die von Mobilfunksendeanlagen ausgehen, gesundheitlich beeinträchtigt?“		
		Ja	Nein	Unbeantwortet
“Machen Sie sich wegen der von EMF, die von Mobilfunksendeanlagen ausgehen, Sorgen?“	Ja	Kategorie: Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen 2.319	Kategorie: Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen 4.683	Kategorie: Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen 425
	Nein	Kategorie: Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen 154	Kategorie: keine Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen 18.385	Kategorie: keine Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen 260
	Unbeantwortet	Kategorie: Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen 346	Kategorie: keine Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen 804	Keine Angabe 2.671

Im folgenden Abschnitt werden die vorgenommenen Kategorisierungen der untersuchten Einflussgrößen beschrieben:

- Geschlecht: Die Referenzkategorie sind die Männer.
- Altersgruppe: Das Alter wurde in 10-Jahres-Gruppen zusammengefasst, so dass 14-19 Jahre, 20-29 Jahre, 30-39 Jahre, 40-49 Jahre, 50-59 Jahre, 60 und mehr Jahre jeweils eine Gruppe sind. Als Referenzkategorie dient „60 oder mehr Jahre“.
- Familienstand: Als Einteilung liegt vor: Keine Angabe, ledig, verheiratet, geschieden/ getrennt lebend. Die Vergleichsklasse ist „ledig“.
- Einkommen: Als Einteilung liegt vor: keine Angabe, bis unter 1.000 Euro, 1.000-2.000 Euro, 2.000-3.000 Euro, 3.000-4.000 Euro, 4.000-5.000, mehr als 5.000 Euro, weiß nicht. Die Referenzkategorie ist 1.000-2.000 Euro.

- Höchster Schulabschluss: Noch Schüler/-in (Abschlussziel offen), ohne Abschluss (Schullaufbahn beendet), Abschluss Haupt-/Volksschule, Abschluss Realschule (Mittlere Reife), POS, Abschluss mit Fachhochschulreife, Abschluss Hochschulreife (Abitur), anderer Schulabschluss, noch Schüler/-in (Abschlussziel Haupt-/Realschulabschluss), noch Schüler/-in (Abschlussziel Hochschulreife), keine Angabe. Die Referenzkategorie ist Realschulabschluss.
- Höchste Berufsausbildung: keine Angabe, kein beruflicher Abschluss, abgeschlossene Lehre/Berufsfachschule, Meister-/Techniker Abschluss, Fachhochschulabschluss, Hochschulabschluss, anderer beruflicher Abschluss, noch in Ausbildung/Lehre. Als Referenzkategorie wurde abgeschlossene Lehre/ Berufsfachschule gewählt.
- Berufstätigkeit: Hausmann/-frau Student/-in, ganztägig berufstätig, Teilzeit berufstätig, Elternzeit/Erziehungsurlaub, zur Zeit arbeitslos, Rentner/-in Pensionär/-in, berufsunfähig/erwerbsunfähig, nicht eindeutig zuzuordnen, keine Angabe. Die Referenzkategorie ist „ganztägig berufstätig“.
- Beruf des Haushaltsvorstandes: Selbstständig/freiberuflich tätig, Landwirt/-in, Beamter/-in, Angestellte/-r, Arbeiter/-in oder Facharbeiter/-in, Vorarbeiter/-in Meister/-in, Wehr-/Zivildienstleistende/-r, keine Angabe. Als Referenzkategorie wurde „Angestellte/-r“ gewählt.
- Haushaltsgröße: Anzahl der im Haushalt lebenden Personen. Als Referenz wurden die 1-Personen-Haushalte festgelegt.
- Bundesland: Alle 16 Bundesländer sind hier aufgeführt. Als Referenz wurde Nordrhein-Westfalen gewählt, da hier die meisten Haushalte vorzufinden sind.
- Gemeindegrößenklasse: keine Angabe, 1 bis 1.999, 2.000 bis 4.999, 5.000 bis 19.999, 20.000 bis 49.999, 50.000 bis 99.999, 100.000 bis 499.999, 500.000 und mehr. Als Vergleichsklasse dient „500.000 und mehr“.
- Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage: Die Frage lautet: „Wohnen Sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage?“. Die Frage konnte mit „Ja“, „Nein“ und „Weiß nicht“ beantwortet werden. Als Referenzkategorie wurde die Antwort „Nein“ gewählt.
- Beschwerdenscore: Der Score bildet sich als Summenscore aus den abgefragten Befindlichkeiten, wobei eine 1 für die Antwort „gar nicht“ bis zu einer 4 für „stark“ verwendet wurde. Beim Ausschluss wurde folgendermaßen vorgegangen:
 1. Der Proband hat keine Beschwerde angekreuzt → Ausschluss
 2. Der Proband hat einige Beschwerden angekreuzt, darunter welche mit dem Wert 1 = gar nicht → Ausschluss
 3. Der Proband hat einige Beschwerden angekreuzt, darunter keine mit dem Wert 1 = gar nicht → restliche unangekreuzte Beschwerden auf 1 setzen.

Die Summe kann Werte zwischen 38 und 152 erreichen. Es fehlen von 3.793 Probanden die Angaben. Aufgrund dessen wurde entschieden, die Scores in Quintile einzuteilen und bei den Probanden, bei denen sich aufgrund fehlender Werte kein Score berechnen ließ, als eigene Kategorie zu behandeln (vgl. Seite 27).

Alle Subgruppenauswertungen wurden gewichtet durchgeführt, da es bei der Verteilung auf die Städtegrößen zu Abweichungen vom bundesweiten Durchschnitt kam. Alle Anzahlen und Anteile beruhen auf dieser Gewichtung.

Modellierung: Die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen wurden zu einer dichotomen Variablen zusammengefasst, um eine logistische Regression (Hosmer & Lemeshow 1989) durchführen zu können. Zunächst wurde eine Rückwärts-Selektion vorgenommen, wobei ein Verbleiben der einzelnen Variable bei einem p-Wert unter 5% vorgesehen war (Test nach Wald). Dieser Wert wurde so gewählt, dass das Ergebnis aufgrund der vielen Einflussvariablen übersichtlich blieb. Zudem ist in diesem Datensatz mit über 30.000 Personen damit zu rechnen, dass viele Einflussvariablen selbst bei minimalen Effekten signifikanten Einfluss auf die Zielvariable haben.

Durch die Dichotomisierung der Zielvariablen in Bedenken (d.h., Besorgnis und/oder Attribution) und keine Bedenken (d.h., weder Besorgnis noch Attribution) ergaben sich fehlende Werte. Bei 30.047 Befragten lagen von 2.671 (8,9%) zu dieser Frage keine Angaben vor, daher mussten sie aus der Auswertung ausgeschlossen werden. Dieser Anteil war jedoch nicht so groß, dass eine Imputation hätte vorgenommen werden müssen. Bei allen anderen Variablen lagen entweder keine fehlende Werte vor, oder sie konnten als eigene Kategorie behandelt werden.

Weiterhin wurde das Modell mittels Hosmer-Lemeshow-Test auf Güte untersucht. Schließlich wurde auf Schlüssigkeit und Interpretierbarkeit der einzelnen Parameter geachtet.

Zunächst ergab sich für stetige Variablen wie Haushaltsgröße und Beschwerdenscore die Möglichkeit, diese auch stetig in das Modell aufzunehmen, da sich eine Linearität beim OR in den einzelnen Klassen zeigte. Jedoch führte dies zu einer Verminderung der für das Modell relevanten Probanden, da der Score nicht immer aus den Angaben zu Frage 1 (Frick-Liste) zu berechnen war; dies war bei 3.793 Probanden der Fall. Das Alter zeigte keine Linearität, vor allem in den mittleren Altersstufen lagen erhöhte Werte vor. Somit blieb die Klasseneinteilung bestehen.

4.3.5.2 Mit welchen Faktoren ist der Beschwerdenscore assoziiert?

Zielgröße war der Beschwerdenscore, der anhand der Frick-Liste bestimmt wurde. Der Score konnte Werte zwischen 38 und 152 annehmen. Die deskriptive Auswertung beruhte auf der Darstellung von Medianen sowie dem 1. und 3. Quartil. Eine Angabe von Mittelwerten und Standardabweichungen ergab aufgrund der vorliegenden Schiefe des Beschwerdenscores keinen Sinn.

Um Einflüsse auf den Score zu analysieren, wurde ein generalisiertes lineares Modell (GLM) angepasst. Da nur natürliche Zahlen durch den Score angenommen wurden, der Score wie eine Zählvariable interpretiert werden konnte und die Verteilung eine starke Rechtsschiefe aufwies, wurde eine Poisson-Regression durchgeführt, also ein GLM mit log-link (McCullagh & Nelder 1989). Weiterhin wurden die Scores für das Modell auf die Spannweite transformiert [1,113], also jedem Wert 37 Punkte abgezogen. Zudem wurde Überdispersion zugelassen. Die Ergebnisse wurden tabellarisch dargestellt. Es wurden die Parameter und die rücktransformierten Parameter mit 95 % Konfidenzintervall nach Wald angegeben. Alle Berechnungen wurden gewichtet nach Ortsgrößenklassen.

Die Anpassungsgüte konnte aufgrund der vielen Kategorien nicht durch Pearson χ^2 bewertet werden, da die Klassenhäufigkeiten unter eine Häufigkeit von 5 fallen können. Stattdessen wurden 5 Klassen durch Quintile der geschätzten und der Originalwerte gebildet. Diese Einteilungen wurden miteinander in einer Kreuztabelle verglichen.

Zur Auswahl der relevanten Einflussvariablen wurde als Kriterium einmal die Signifikanzgrenze von 5 % gewählt, zum zweiten wurden die Faktoren – wie bei der Analyse der Besorgten und Beeinträchtigten – nach inhaltlichen Gesichtspunkten ausgewählt.

Auswertung von Einzelbeschwerden: Als Einzelbeschwerden wurden aus Frage 1 die Kopfschmerzen und die Schlafbeschwerden separat ausgewertet. Die Kategorien „gar nicht“, „ein

bisschen“ einerseits und „mäßig“, „stark“ andererseits wurden zusammengefasst und in Häufigkeitstabellen dargestellt. Auf eine kombinierte Darstellung mit anderen Einflussvariablen wurde verzichtet. Die explorative Analyse beruht auf logistischer Regression, wobei gewichtet modelliert wurde. Die Auswahl der relevanten Einflussvariablen beruhte auf einer Rückwärtsselektion mit einem gewählten Signifikanzniveau von 5 %. Zusätzlich waren inhaltliche Gesichtspunkte maßgebend für die Auswahl der Einflussfaktoren. Die Anpassungsgüte wurde mittels Hosmer-Lemeshow-Test bewertet. Alle Parameter wurden mit 95 % Konfidenzintervall angegeben und gewichtet nach den Ortsgrößenklassen berechnet.

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Haushaltspanel

4.4.1.1 Deskriptive Auswertungen zu den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen

In den deskriptiven Auswertungen werden die Ergebnisse für die vier bereits im Methodenteil beschriebenen Subgruppen dargestellt:

- Personen, die weder wegen Mobilfunksendeanlagen besorgt sind noch gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren („keine Bedenken“)
- Personen, die sich aufgrund der elektromagnetischen Felder Sorgen um ihre Gesundheit machen, aber gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren („Besorgnis“)
- Personen, die gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren („Attribution“)
- Personen, die die Fragen nicht beantwortet haben.

In der Umfrage gehört rund jeder sechste Teilnehmer zu den Besorgten, jeder zehnte Teilnehmer der Befragung attribuiert gesundheitliche Beeinträchtigungen auf die EMF von Mobilfunksendeanlagen. Keine Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen äußern 65 % der Teilnehmer, 8,6 % machen hierzu keine Angabe (Tabelle 4.15).

Zwischen den Geschlechtern gibt es keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich der gebildeten Subgruppen, abgesehen davon, dass der Anteil der Frauen in der Gruppe „keine Angabe“ um 2 Prozentpunkte höher liegt als der Anteil bei den Männern.

Die mit Abstand größte Gruppe der Befragten fühlt sich nicht in ihrer Gesundheit durch die elektromagnetischen Felder von Mobilfunksendeanlagen beeinträchtigt und macht sich auch keine Sorgen wegen möglicher gesundheitlicher Auswirkungen der Felder.

Die Klassifizierung nach Altersgruppen macht zwei Entwicklungen sichtbar. Mit höherem Alter steigt zum einen der Anteil an Teilnehmern, die „keine Angabe“ gemacht haben. Zum anderen sind die wegen der Felder von Sendeanlagen besorgten und sich gesundheitlich beeinträchtigt fühlenden Personen in den mittleren Altersgruppen am stärksten vertreten.

Bei der Subgruppenanalyse nach Familienstand zeigt sich, dass die verheirateten Teilnehmer einen etwas höheren Anteil an Personen mit Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen aufweisen (Tabelle 4.15).

Tabelle 4.15: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Geschlecht, Altersgruppen und Familienstand (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Bedenken	Besorgnis	Attribution	Anzahl
			in %			absolut
Geschlecht	Alle	8,6	65,1	16,9	9,5	30.047
	männlich	7,6	65,7	16,8	9,9	15.078
	weiblich	9,6	64,4	17,0	9,0	14.969
Alter	14-19	8,4	69,3	14,3	7,9	2.770
	20-29	4,2	71,6	16,9	7,3	4.352
	30-39	4,2	65,9	20,7	9,3	6.368
	40-49	7,1	63,5	18,9	10,6	6.323
	50-59	10,7	63,9	14,1	11,3	4.902
	60-70	17,5	59,5	13,7	9,3	5.335
Familienstand	ledig	5,4	69,0	17,2	8,4	11.218
	verheiratet	9,9	62,4	17,2	10,5	13.928
	geschieden /getrennt lebend	12,2	63,8	15,0	9,0	4.879
	keine Angabe	26,8	58,2	3,6	11,4	25

Zwischen den einzelnen Einkommensklassen erkennt man keine wesentlichen Unterschiede. Zwar haben die Haushalte mit dem geringsten Einkommen die kleinsten Werte bei Besorgnis und Attribution, jedoch ist bei den anderen Einkommensklassen der Anteil von Personen mit diesen Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nahezu gleich (Tabelle 4.16).

Tabelle 4.16: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Einkommensgruppen (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Bedenken	Besorgnis	Attribution	Anzahl
			in %			
Einkommen	bis unter 1.000€	10,2	65,8	14,8	9,3	3.707
	1.000€ bis unter 2.000€	9,6	65,3	15,7	9,5	10.644
	2.000€ bis unter 3.000€	7,1	65,2	18,2	9,5	8.514
	3.000€ bis unter 4.000€	6,4	66,1	17,4	10,2	3.772
	4.000€ bis unter 5.000€	7,7	63,8	19,7	8,7	979
	Über 5.000€	8,6	64,5	18,2	8,8	723
	Weiß nicht/ keine Angabe	12,0	60,1	18,8	9,1	1.709

Betrachtet man die Verteilung nach den Gruppen mit verschiedenen Schulabschlüssen, so fällt auf, dass mit höherem Schulabschluss der Anteil der Personen mit Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen ansteigt. So finden sich unter den Teilnehmern mit Hochschulreife 21,1 % Besorgte und 8,2 %, die gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren. Der höchste Anteil von Besorgten findet sich bei den Teilnehmern, die ihre Schullaufbahn ohne Abschluss beendet haben, während bei Schülern nur 15 % besorgt sind

und 9% gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren (Tabelle 4.17).

Tabelle 4.17: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach höchstem Schulabschluss (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Bedenken in %	Besorgnis	Attribution	Anzahl
Höchster Schulabschluss	Abschluss Haupt-/Volksschule	13,1	63,1	13,9	9,9	8.078
	Abschluss Realschule (Mittlere Reife)/POS	7,9	66,1	16,1	9,8	9.581
	Abschluss mit Fachhochschulreife	6,2	63,4	20,0	10,4	2.798
	Abschluss mit Hochschulreife (Abitur)	5,0	65,8	21,1	8,2	6.382
	Anderer Schulabschluss	17,4	55,9	12,2	14,5	303
	Noch Schüler	6,8	69,7	14,8	8,7	1.721
	ohne Abschluss (Schullaufbahn beendet)	6,5	67,4	21,2	4,9	134
	keine Angabe	9,0	65,6	16,9	8,5	1.053

Eine ähnliche Verteilung findet sich beim höchsten Berufsabschluss. Auch hier zeigt sich: Je höher der Abschluss ist, desto größer ist auch der Anteil der Besorgten (Tabelle 4.18).

Tabelle 4.18: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach höchstem Berufsabschluss (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Bedenken in %	Besorgnis	Attribution	Anzahl
Höchster Berufsabschluss	Noch in Ausbildung /Lehre	8,6	69,9	13,9	7,7	769
	Noch an Fachhochschule /Universität	4,9	67,8	19,8	7,5	836
	Abschluss Fachschule	9,7	62,5	18,3	9,5	1.687

Abgeschlossene Lehre /Berufsfachschule	9,0	65,7	15,8	9,5	14.165
Meister- /Techniker- Abschluss	7,4	64,0	17,0	11,6	1.727
Fachhochschul- abschluss	5,7	63,3	21,3	9,7	2.220
Hochschul- abschluss	5,8	64,2	21,1	8,9	2.836
Anderer beruflicher Abschluss	10,2	61,1	18,6	10,1	799
kein beruflicher Abschluss	12,0	65,8	13,8	8,5	1.167
keine Angabe	10,5	65,0	14,8	9,7	3.843

Betrachtet man die einzelnen Berufsgruppen, weisen Beamte und freiberuflich Tätige bei Besorgnis und Attribution die höchsten Werte auf, wohingegen Arbeiter und Facharbeiter hier die geringeren Anteile vorweisen. Die Anteile bei Wehr- und Zivildienstleistenden sind nicht interpretierbar, da diese mit 22 Interviewten eine zu kleine Gruppe bilden (Tabelle 4.19).

Tabelle 4.19: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach ausgeübter Berufstätigkeit (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Bedenken in %	Besorgnis	Attribution	Anzahl
	Selbstständig /freiberuflich tätig	5,9	64,3	19,1	10,7	2.281
	Landwirt/-in	9,5	62,1	18,7	9,8	150
	Beamter/-in	7,0	63,3	19,2	10,5	2.684
Beruf des Haus- haltungsvor- standes	Angestellte/-r	6,3	66,7	17,8	9,2	13.459
	Arbeiter/-in, Facharbeiter/-in	8,2	67,6	15,3	8,9	4.133
	Vorarbeiter/-in Meister/-in	7,9	68,3	14,6	9,1	611
	Wehr-/Zivildienst- leistende/-r	0,0	77,2	7,7	15,1	22
	keine Angabe	15,0	60,8	14,5	9,7	6.707

Tabelle 4.20 zeigt, dass Besorgnis und Attribution mit der Haushaltsgröße ansteigen. Allerdings weisen auch Singlehaushalte erhöhte Werte auf.

Tabelle 4.20: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Haushaltsgröße (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	Keine Bedenken	Besorgnis	Attribution	Anzahl
			in %			
Haus- haltsgröße	1 Person	7,6	66,6	17,4	8,4	8.327
	2 Personen	10,8	64,5	15,6	9,2	9.674
	3 Personen	7,3	65,3	16,7	10,7	5.187
	4 Personen	7,8	64,2	18,2	9,8	4.892
	5 Personen	6,8	62,3	19,2	11,7	1.479
	Mehr als 5 Personen	9,6	65,8	14,5	10,1	487

Der Vergleich zwischen den Bundesländern zeigt, dass Mecklenburg-Vorpommern die geringsten Werte bei Besorgnis und Attribution aufweist und Bayern die höchsten. Man erkennt keinen Unterschied zwischen Stadt- und Flächenstaaten (Tabelle 4.21).

Tabelle 4.21: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Bundesland (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	Keine Bedenken	Besorgnis	Attribution	Anzahl
			in %			
Bundes- länder	Schleswig-Holstein	9,2	65,4	16,8	8,6	1.054
	Mecklenburg-Vorpommern	8,6	73,5	11,7	6,2	728
	Niedersachsen	8,0	67,0	15,9	9,1	2.920
	Hamburg	9,0	63,2	19,1	8,8	600
	Bremen	6,8	64,1	19,2	9,9	230
	Brandenburg	9,5	69,3	12,5	8,8	1.070
	Sachsen-Anhalt	10,8	68,6	12,9	7,8	1.047
	Berlin	6,9	69,2	15,7	8,3	1.245
	Nordrhein-Westfalen	8,2	67,5	15,8	8,5	6.330
	Hessen	9,0	63,9	16,6	10,6	2.137
	Thüringen	9,4	65,2	15,0	10,4	987
	Sachsen	9,0	69,8	14,1	7,0	1.750
	Rheinland-Pfalz	9,2	66,0	15,0	9,7	1.469
	Saarland	11,0	62,7	17,8	8,5	388
	Bayern	8,8	56,4	21,8	13,0	4.414
	Baden-Württemberg	8,1	62,9	19,5	9,6	3.681

In der Einteilung nach Ortsgrößenklassen sind keine wesentlichen Unterschiede zu sehen (Tabelle 4.22).

Tabelle 4.22: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Ortsgrößenklassen (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung Einwohner	Keine Angabe	keine Bedenken	Besorgnis in %	Attribution	Anzahl
Ortsgrößenklassen	Keine Angabe	0,0	100,0	0,0	0,0	2
	1 bis 1.999	8,7	64,3	17,4	9,6	2.246
	2.000 bis 4.999	8,5	62,7	18,1	10,8	2.981
	5.000 bis 19.999	8,9	64,0	18,0	9,2	7.866
	20.000 bis 49.999	9,0	65,5	16,1	9,4	5.486
	50.000 bis 99.999	8,7	64,7	17,2	9,4	2.567
	100.000 bis 499.999	9,1	67,3	14,7	8,9	4.844
	500.000 und mehr	6,9	66,3	17,0	9,8	4.055

Bei der Frage nach dem Wohnen in der unmittelbaren Umgebung von Sendeanlagen zeigen sich große Unterschiede bei der Besorgnis und Attribution. So tendieren Leute, die angeben in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage zu wohnen, häufiger zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als solche, die bei der Einschätzung der Wohnortnähe „Nein“ angegeben haben. Auffällig ist mit 73,2 % der hohe Anteil derjenigen, die der Kategorie „Keine Angabe“ bei Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen zugeordnet wurden, wenn sie auch bei der Frage nach der Einschätzung der Nähe zu einer Sendeanlage keine Angaben machten (Tabelle 4.25). Diese Aussage bezieht sich allerdings nur auf 238 Teilnehmer (gewichtet).

Tabelle 4.23: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach der Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Be- denken	Besorgnis in %	Attribution	Anzahl
Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage	Ja	0,4	65,8	20,9	12,9	5.096
	Nein	12,0	63,7	15,5	8,8	16.331
	Weiß nicht	5,1	68,6	17,5	8,8	8.385
	keine Angabe	73,2	20,9	2,7	3,3	238

In Tabelle 4.24 sind die abgefragten Einzelbeschwerden aufgelistet. Gefragt worden war: „Haben Sie in den letzten 30 Tagen folgende Beschwerden gehabt?“ Bei den stark ausgeprägten Beschwerden werden „Nackenschmerzen“ mit 7,9 %, „Kopfschmerzen“ (7,5 %), „Muskelverspannungen“ (7,1 %) sowie Schlafstörungen und trockene Haut mit jeweils 5,8 % am häufigsten genannt. Kaum eine Rolle bei den stark ausgeprägten Beschwerden spielen dagegen „Herzrasen“, „Herzstolpern“, „Druck in der Brust“ sowie „geschwollene Augen“. Hier liegen die Nennungen jeweils unter 1 Prozent.

Für die Gegenüberstellung der 30-Tage-Prävalenzen dieser Studie und den Ergebnissen von Frick et al. (2002) wurden die Nennungen „ein bisschen“, „mäßig“ und „stark“ zusammengefasst. Für die meisten Beschwerden zeigen sich weitgehend übereinstimmende Ergebnisse, deutliche Abweichungen von mehr als 10 % (Absolutprozent) finden sich bei den Beschwerden „Mattigkeit“, „Schwierigkeiten, sich auf Dinge zu konzentrieren“, „Taubheitsgefühle in

den Gliedmaßen“, „Schwierigkeiten, sich Sachen kurzfristig zu merken“ und „Gefühl innerer Unruhe“. Alle deutlichen Abweichungen gehen in eine Richtung, das heißt, der Anteil der Nennungen ist in der von Frick et al. befragten Population durchgängig höher. Hier können die geringe Zahl der von Frick et al. Befragten (N= 338), die nicht identischen Altersgruppen (Frick et al.: 18 - 64 Jahre, Quebeb: 14 – 69 Jahre), die Tatsache, dass ausschließlich Personen aus der Stadt Regensburg befragt wurden und der unterschiedliche inhaltliche Kontext mögliche Ursachen für die Abweichungen bei den Ergebnissen sein.

Tabelle 4.24: Einzelbeschwerden

	%				Basis	30-Tage-	
	Gar nicht	Ein bisschen	Mäßig	Stark	abs. gewichtet	QUE-BEB	Frick-Liste
Bauchschmerzen	66,6	20,7	9,2	3,5	28.929	35,4	29,5
Übelkeit	75,1	17,0	5,7	2,1	28.919	24,9	22,8
Unregelmäßige Verdauung	71,8	17,9	7,2	3,1	28.931	28,2	23,6
Darmschmerzen	88,4	6,8	3,3	1,5	28.858	11,6	11,2
Erbrechen	93,6	3,9	1,5	1,0	28.843	6,4	5,2
Mattigkeit	51,7	29,6	13,3	5,5	28.941	48,3	65,1
Atemlosigkeit (ohne Anstrengung)	88,3	7,8	2,8	1,1	28.911	11,7	10,4
Herzrasen	87,5	8,7	2,9	0,9	28.931	12,5	15,7
Herzstolpern	91,2	5,9	2,2	0,7	28.866	8,8	12,1
Schwierigkeiten, sich auf Dinge zu konzentrieren	67,4	24,6	5,9	2,1	28.973	32,6	56,8
Schwindelgefühle	73,1	19,3	5,9	1,7	28.940	26,9	26,7
Druck in der Brust	88,0	8,6	2,6	0,8	28.911	12,0	15,4
Blutdruckanstieg	82,0	10,6	5,5	1,9	28.917	18,0	16,7
Hautausschlag (unreine Haut)	70,8	17,7	8,5	3,1	28.911	29,2	25,5
Kribbeln/Brennen der Haut	85,4	9,8	3,5	1,3	28.861	14,6	16,0
Trockene Haut	55,0	25,7	13,4	5,8	28.973	45,0	35,2
Überhitzt gefühlt ohne Anstrengung	79,6	12,1	5,6	2,6	28.855	20,4	25,4

Kopfschmerzen	41,1	33,0	18,5	7,5	29.100	58,9	50,9
Nackenschmerzen	50,1	25,4	16,6	7,9	28.995	49,9	51,3
Muskelschmerzen	63,3	21,5	10,6	4,6	28.948	36,7	25,5
Nervenschmerzen	88,7	6,2	3,2	1,9	28.830	11,3	10,9
Zahnschmerzen	84,9	10,6	3,0	1,4	28.901	15,1	13,0
Muskelkrämpfe	81,1	12,1	4,9	1,9	28.878	18,9	20,2
Muskelverspannungen	52,9	25,7	14,2	7,1	28.927	47,1	47,3
Schlafstörungen	58,1	24,7	11,4	5,8	29.041	41,9	43,1
Taubheitsgefühle in den Gliedmaßen	80,3	11,8	5,4	2,5	28.920	19,7	66,3
Schwierigkeiten, sich Sachen kurzfristig zu merken	75,2	17,8	5,0	2,0	28.916	24,8	44,1
Tagesmüdigkeit	52,1	33,1	11,0	3,8	29.022	47,9	55,2
Kraftlosigkeit	69,9	22,1	6,0	2,1	28.881	30,1	33,2
Verschwommenes Sehen	84,2	11,6	3,3	0,9	28.924	15,8	21,0
Augenflimmern	89,2	8,4	1,9	0,5	28.836	10,8	19,5
Herzklopfen, Herzjagen oder Herzstolpern	87,0	9,4	2,6	1,0	28.914	13,0	*
Rasche Erschöpfbarkeit	76,7	16,2	4,7	2,4	28.926	23,3	*
Angstgefühle	86,6	8,8	3,0	1,5	28.902	13,4	*
Verstärkten Haarausfall	86,2	8,5	3,4	1,9	28.927	13,8	11,0
Geschwollene Augen	87,7	9,3	2,4	0,6	28.924	12,3	19,5
Gefühl innerer Unruhe	71,4	18,6	7,0	3,0	28.966	28,6	44,7
Zittern der Hände	88,9	8,2	2,2	0,8	28.915	11,1	13,9

* keine Referenzdaten verfügbar

4.4.1.2 Multiple Auswertung zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen

Folgendes Modell für die logistische Regression zu den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (Tabelle 4.25), berechnet für 24.189 von 30.047 Probanden, betrachten wir als das

beste. Die Nichtbeachtung von 5.858 Personen beruht auf fehlenden Werten im Datensatz. Bei 2.671 Personen fehlten Angaben zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (Kapitel 5.3.5.1) und bei 3.793 konnte der Beschwerdenscore nicht berechnet werden. Nicht (mehr) im endgültigen Modell enthalten sind die Variablen „Geschlecht“, „Einkommen“ und „höchster Berufsabschluss“, da nicht statistisch signifikant.

Der Hosmer-Lemeshow-Test weist mit $p=0,92$ auf eine sehr gute Anpassungsgüte hin.

Verglichen mit der deskriptiven Auswertung ergeben sich im adjustierten logistischen Regressionsmodell keine weiteren Auffälligkeiten. Von einer Einbindung des Alters als stetige Variable, welches mittels der Technik der fractional polynomials möglich wäre, wurde abgesehen, da dies den Rahmen der Auswertung sprengen würde. Aus demselben Grund wurde auf eine Einbindung von Interaktionen verzichtet.

Tabelle 4.25: Multiple logistische Regression mit der Zielvariable „Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen“ (1= Besorgnis und/oder Attribution; 0=weder Besorgnis noch Attribution)

Effekt	OR Schätzung	95% Konfidenzintervall nach Wald	
Alter Referenzkategorie 60-70 jährige	1,00		
14-19 Jahre	0,78	0,63	0,97
20-29 Jahre	0,82	0,72	0,93
30-39 Jahre	1,17	1,04	1,31
40-49 Jahre	1,17	1,05	1,31
50-59 Jahre	1,02	0,91	1,14
Bundesländer			
Referenzkategorie: Nordrhein-Westfalen	1,00		
Schleswig-Holstein	1,16	0,99	1,37
Mecklenburg-Vorpommern	0,68	0,54	0,85
Niedersachsen	1,08	0,97	1,21
Hamburg	1,29	1,05	1,58
Bremen	1,34	0,98	1,83
Brandenburg	0,94	0,79	1,12
Sachsen-Anhalt	0,85	0,71	1,02
Berlin	0,98	0,83	1,14
Hessen	1,19	1,05	1,35
Thüringen	1,01	0,85	1,21
Sachsen	0,89	0,77	1,03
Rheinland-Pfalz	1,07	0,93	1,24
Saarland	1,31	1,01	1,70
Bayern	1,86	1,70	2,05
Baden-Württemberg	1,32	1,19	1,45
Haushaltsgröße	1,05	1,02	1,09
(OR entspricht Steigerung bei Zunahme um 1)			
“Wohnen Sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage?“			
Referenzkategorie: Nein	1,00		
Ja	1,29	1,20	1,39
Weiß nicht	0,98	0,91	1,05
keine Angabe	0,63	0,31	1,28
Familienstand			
Referenzkategorie: ledig	1,00		
verheiratet	1,06	0,97	1,16
geschieden/ getrennt	0,92	0,83	1,02

Effekt	OR Schät- zung	95% Konfidenz- intervall nach Wald	
Keine Angabe	0,15	0,02	1,24
Höchster Schulabschluss			
Referenzkategorie: Realschulabschluss	1,00		
Ohne Abschluss	0,97	0,63	1,51
Hauptschule	0,88	0,81	0,96
Fachhochschulreife	1,27	1,15	1,41
Hochschulreife	1,27	1,18	1,38
Anderer Schulabschluss	1,20	0,89	1,62
Noch Schüler/-in	1,15	0,94	1,41
keine Angabe	1,07	0,90	1,27
Score	1,02	1,02	1,03
(OR entspricht Steigerung bei Zunahme um 1)			
Beruf des Haushaltsvorstands			
Referenzkategorie: Angestellte/-r	1,00		
Arbeiter/-in, Facharbeiter/-in	0,95	0,87	1,05
Beamter/-in	1,10	0,99	1,21
Landwirt/-in	0,84	0,55	1,28
Selbstständig/ freiberuflich tätig	1,12	1,01	1,25
Vorarbeiter/-in, Meister/-in	0,86	0,70	1,06
Wehr-/Zivildienst	1,02	0,37	2,85
keine Angabe	1,13	1,04	1,23

Der Beschwerdenscore wurde als stetige Variable in das Modell aufgenommen. Angegeben wird das Odds ratio (OR) mit dem zugehörigen Konfidenzintervall. Der Wert 1,02 als Effektmaß bedeutet, dass der Anstieg des Scores um einen Punkt die Chance, Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen zu haben, um das 1,02-fache erhöht. Eine Steigerung um 5 Scorepunkte bedeutet eine Chancenerhöhung um das $(1,02)^5 = 1,10$ -fache bzw. um 10 %.

Bei der Modellierung ist auffallend, dass die Variable Geschlecht erst aus dem Modell entfernt werden kann, sobald der Score mit in das Modell aufgenommen wird. Dies weist auf eine Korrelation zwischen Score und Geschlecht hin.

Tabelle 4.26: Beschwerdenscore nach Geschlecht (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Männ- lich	Weib- lich	Anzahl
		in %		
Beschwerdenscore	Kein Score berechenbar	46,4	53,6	3.723
	Quartil 1% - 20%	70,3	29,7	5.439
	Quartil 20% - 40%	56,5	43,5	5.348
	Quartil 40% - 60%	50,6	49,4	4.330
	Quartil 60% - 80%	42,0	58,0	6.345
	Quartil 80% -100%	34,3	65,7	4.964

Es sind deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den Beschwerdenscores zu erkennen (Tabelle 4.26).

4.4.1.3 Deskriptive Auswertungen zum Beschwerdenscore

In diesem Kapitel geht es um den Beschwerdenscore. Die Basisauszählungen zu einzelnen Beschwerden im Verhältnis zu einzelnen Antworten des Fragebogens sind dem Anhang zu entnehmen. Auf die im Anhang dargestellten Ergebnisse zur Assoziation der einzelnen Beschwerden mit der Einschätzung, in der Nähe einer Basisstation zu wohnen, wird nicht näher eingegangen, da die Einschätzung der Nähe zu einer Mobilfunksendeanlage kein objektives Kriterium für eine Exposition darstellt und daher die Gefahr besteht, dass es zu einer Fehlinterpretation der Ergebnisse kommt. Die Assoziation der einzelnen Beschwerden mit der Besorgnis bzw. Attribution wird hier ebenfalls nicht ausführlich dargestellt, im multivariaten Modell zum Beschwerdescore (Tabelle 4.38) werden die Besorgnis und die Attribution jedoch berücksichtigt.

Wenn man den erreichten Score der Beschwerden, der eine Spannweite von 38-152 einnimmt, in Quintile aufteilt, so erkennt man einen Trend bei der Beantwortung der Frage nach Sorgen und Beeinträchtigungen aufgrund von Mobilfunksendeanlagen. Je höher der Beschwerdenscore einer Person, desto größer die Tendenz zu Sorgen und Beeinträchtigung.

Die Unterschiede bei der Klassengröße der Quintile ergibt sich daraus, dass die meisten Werte beim Score zwischen 40 und 50 liegen (Tabelle 4.27).

Tabelle 4.27: Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen nach Quintilen des Beschwerdenscores (gewichtet)

Subgruppe	Einteilung	Keine Angabe	keine Bedenken in %	Besorgnis	Attribution	Anzahl
Beschwerdenscore	Kein Score berechenbar	15,6	59,1	14,3	11,0	3.723
	Quartil 1% - 20%	8,8	70,1	15,4	5,7	5.439
	Quartil 20% - 40%	8,2	68,4	16,1	7,3	5.348
	Quartil 40% - 60%	7,9	66,4	17,9	7,8	4.230
	Quartil 60% - 80%	6,4	65,9	17,9	9,9	6.345
	Quartil 80% -100%	7,0	58,3	18,9	15,8	4.962

Die deskriptive Auswertung des Scores wird in tabellarischer Form vorgenommen. Alle Tabellen zeigen den Median, das erste und das dritte Quartil sowie die Anzahl der einzelnen Untergruppen. Alle Berechnungen wurden unter Berücksichtigung der Gewichtung durch die Gemeindegrößen durchgeführt.

Die Zielvariable wird anhand eines Histogramms dargestellt (Abbildung 4.4).

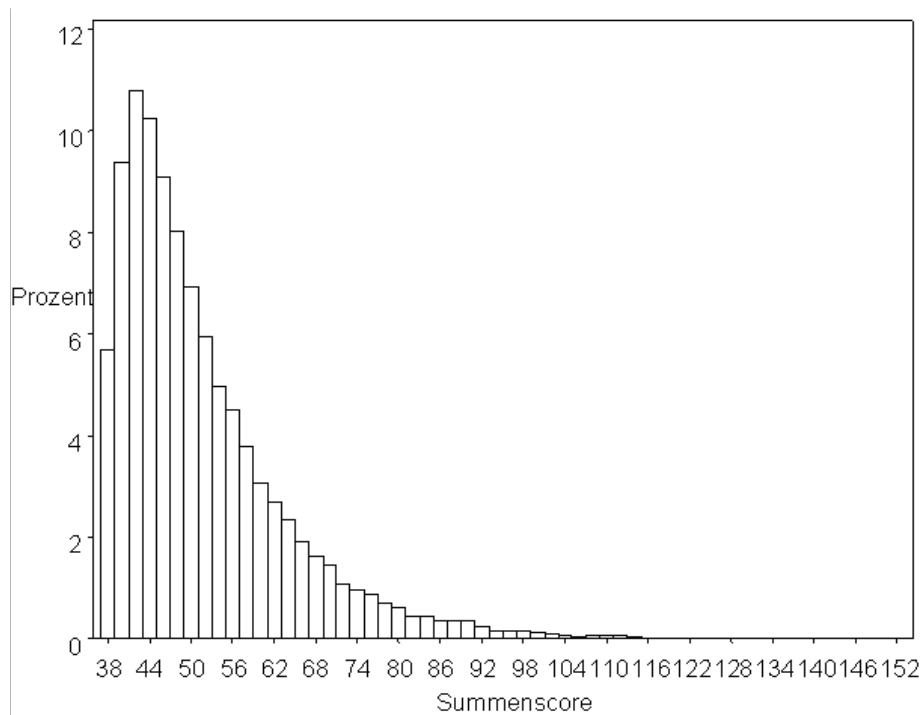


Abbildung 4.4: Histogramm des Beschwerdescores (Frick)

Wie häufig bei Scores erkennt man auch hier eine rechtsschiefe Verteilung. Die meisten Werte (80 %) befinden sich unterhalb der 60-Punkte Grenze.

Tabelle 4.28: Score nach Geschlecht, Altersgruppen und Familienstand (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
<i>Geschlecht</i>				
Männlich	45	41	52	12.702
Weiblich	50	44	60	13.552
<i>Altersgruppen</i>				
14-19	45	41	51	2.389
20-29	49	43	57	3.770
30-39	48	43	56	6.048
40-49	48	42	57	5.352
50-59	48	42	58	4.483
60-69	47	42	56	4.212
<i>Familienstand</i>				
ledig	47	42	55	9.251
verheiratet	47	42	56	13.122
geschieden/getrennt lebend	50	43	60	3.862
keine Angabe	45	41	52	19

Es zeigt sich ein Unterschied zwischen Männern und Frauen, so haben die Männer im Mittel einen um 5 Punkte niedrigeren Beschwerdenscore. Wie zu erwarten ist der Score bei der Altersgruppe der 14-19jährigen am niedrigsten. Jedoch ist die Zunahme in den weiteren Klassen nicht sehr ausgeprägt. Wertet man den Beschwerdenscore nach dem Familienstand aus, so ist erkennbar, dass ledige und verheiratete ähnliche Werte aufweisen. Geschiedene haben mit einem Median von 50 den höchsten Score (Tabelle 4.28).

Tabelle 4.29: Score bei verschiedenen Haushaltseinkommen (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Haushaltseinkommen				
unter 1000 €	50	43	61	2.838
1000-2000 €	48	43	57	9.108
2000-3000 €	47	42	55	7.867
3000-4000 €	47	42	55	3.443
4000 € und mehr	46	41	53	1.564
keine Angabe	46	41	54	1.430
weiß nicht	59	51	59	4

Betrachtet man den Verlauf des medianen Scores, so erkennt man eine stetige Abnahme, je größer das Einkommen ist (Tabelle 4.29).

Tabelle 4.30: Score nach höchstem Schulabschluss (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Höchster Schulabschluss				
Ohne Abschluss (Schullaufbahn beendet)	52	43	65	107
Abschluss Haupt-/Volksschule	48	42	58	7.059
Abschluss Realschule (Mittlere Reife) POS	48	43	57	8.706
Abschluss mit Fachhochschulreife	47	42	56	2.444
Abschluss Hochschulreife (Abitur)	47	42	55	5.339
Anderer Schulabschluss	47	42	58	250
Noch Schüler/-in	46	41	52	1.469
Keine Angabe	46	42	55	871

Bei der Auswertung nach höchstem Schulabschluss werden deutliche Unterschiede erkennbar; es wird ersichtlich, dass je höher der Schulabschluss ist desto niedriger der Beschwerdenscore (Tabelle 4.30).

Tabelle 4.31: Score nach höchstem Berufsabschluss (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Höchster Berufsabschluss				
Noch in der Ausbildung/Lehre	45	41	53	687
Noch Student/-in (Fachhochschule/Universität)	48	43	56	652
Abschluss Fachschule	49	43	58	1.478
Abgeschlossene Lehre/Berufsfachschule	48	43	57	12.755
Meister-/Technikerabschluss	46	41	53	1.521
Fachhochschulabschluss	47	42	55	1.913
Hochschulabschluss	46	41	53	2.328
Anderer beruflicher Abschluss	48	43	57	681
Kein beruflicher Abschluss	51	44	63	1.004
Keine Angabe	46	42	54	3.235

Die Unterschiede hinsichtlich des Scores getrennt nach höchstem Berufsabschluss sind nicht so stark ausgeprägt. Es zeigt sich aber deutlich, dass Personen ohne Berufsabschluss die höchsten Werte aufweisen (Tabelle 4.31).

Tabelle 4.32: Score nach Beruf des Haushaltsvorstandes (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Beruf des Haushaltsvorstands				
Selbständig/freiberuflich tätig	46	41	55	2.028
Landwirt/-in	48	43	60	156
Beamter/-in	47	42	54	2.374
Angestellte/-r	48	42	56	11.894
Arbeiter/-in, Facharbeiter/-in	48	42	56	3.812
Vorarbeiter/-in Meister/-in	48	42	57	595
Wehr-/Zivildienstleistende/-r	48	43	55	18
Keine Angabe	48	43	58	5.377

Bei der Trennung nach dem Beruf des Haushaltsvorstands lassen sich kaum Unterschiede feststellen (Tabelle 4.32).

Tabelle 4.33: Score nach Haushaltsgröße (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Haushaltsgröße/Personen				
1	48	43	57	6.116
2	48	43	57	8.408
3	48	42	56	4.972
4	47	42	54	4.847
5	46	42	54	1.444
6	45	41	53	364
7	48	42	56	69
8	42	39	46	29
9	42	41	57	5

Bei der Auswertung des Scores getrennt nach Haushaltsgröße scheint ein abnehmender Trend mit zunehmender Größe des Haushalts vorzuliegen (Tabelle 4.33).

Tabelle 4.34: Score nach Bundesländern (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Bundesland				
Schleswig-Holstein	47	42	55	893
Mecklenburg-Vorpommern	47	42	55	556
Niedersachsen	48	42	56	2.559
Hamburg	46	42	55	489
Bremen	48	43	56	249
Brandenburg	47	42	56	920
Sachsen-Anhalt	47	42	55	898
Berlin	48	42	55	1.264
Nordrhein-Westfalen	48	42	56	5.568
Hessen	47	42	57	1.835
Thüringen	48	42	57	891
Sachsen	47	42	55	1.605
Rheinland-Pfalz	49	43	58	1.184
Saarland	48	42	57	305
Bayern	48	42	56	3.786
Baden-Württemberg	48	43	57	3.252

Die Unterschiede der Scores zwischen den Bundesländern sind am stärksten zwischen Rheinland-Pfalz und Hamburg gegeben. Es gibt keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Flächen- und Stadtstaaten (Tabelle 4.34).

Tabelle 4.35: Score nach Gemeindegrößenklassen (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Gemeindegrößenklasse				
Keine Angabe	42	42	44	2
1 bis 1.999	47	42	55	2.322
2.000 bis 4.999	48	42	56	3.279
5.000 bis 19.999	47	42	55	8.779
20.000 bis 49.999	48	43	57	4.103
50.000 bis 99.999	48	42	56	2.171
100.000 bis 499.999	48	43	57	2.394
500.000 und mehr	48	42	56	3.204

Bei der Auswertung nach Ortsgrößenklassen sind keine Auffälligkeiten zu erkennen (Tabelle 4.35).

Tabelle 4.36: Score nach Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Wohnen Sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage?				
Ja	49	43	58	4.394
Nein	47	42	54	14.750
Weiß nicht	49	43	58	6.930
Keine Angabe	46	41	56	180

Es zeigt sich, dass Personen, die berichten in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage zu wohnen, einen höheren Durchschnittsscore aufweisen, als Personen, die berichten nicht in der Nähe einer solchen Anlage zu leben (Tabelle 4.36).

Tabelle 4.37: Score nach Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (gewichtet)

	Median	1. Quartil	3. Quartil	Anzahl
Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen				
Besorgnis	48	43	57	4.551
Attribution	52	44	63	2.409
keine Bedenken	47	42	55	17.229
Keine Angabe	46	42	55	2.065

Wird der Score nach der Sorge bzw. Beeinträchtigung betrachtet, werden deutliche Unterschiede zwischen denen, die angeben Bedenken wegen Mobilfunksendemasten zu haben, und denen, die keine Bedenken haben, ersichtlich (Tabelle 4.37).

4.4.1.4 Multiple Auswertung zum Beschwerdenscore

Wie im Histogramm der deskriptiven Analyse zu erkennen ist, sind die Scores schief verteilt. Die Anpassung einer Poisson-Regression ergab die in Tabelle 4.38 aufgeführten Einflussfaktoren. Folgende Faktoren, die sich nach dem gewählten Signifikanzniveau von 5 % als statistisch signifikant gezeigt haben, wurden trotzdem entfernt:

- Bundesländer: entfernt, da nur ein Bundesland statistisch signifikant verschieden zur Referenz (Nordrhein-Westfalen)
- Haushaltsgröße: entfernt, da nur eine Haushaltsgröße statistisch signifikant verschieden zur Referenz (1-Personen-Haushalt) und kein Trend erkennbar
- Beruf des Haushaltsvorstandes: entfernt, da nur bei denjenigen, für die keine Angabe vorlag, ein statistisch signifikanter Unterschied zur Referenz angezeigt wurde. Diese Gruppe ist aber nicht interpretierbar.

Tabelle 4.38: Poisson-Regression zum Beschwerdenscore als Zielvariable:

Einflussfaktor	Rückgerechneter Schätzer	95 % Konfidenzintervall nach Wald	
Achsenabschnitt (Intercept)	7,08	6,69	7,49
Altersgruppen (Ref. 60-70)			
14-19	0,74	0,68	0,80
20-29	1,04	0,99	1,09
30-39	1,01	0,98	1,05
40-49	1,05	1,02	1,09
50-59	1,10	1,06	1,14
60-70	1	1	1
Geschlecht (Ref. männlich)			
weiblich	1,42	1,39	1,45
Einkommen (Ref. 1.000-2.000 €)			
unter 1.000 €	1,08	1,05	1,12
2.000 bis 3.000 €	0,97	0,95	1,00
3.000 bis 4.000 €	0,94	0,91	0,98
mehr als 4.000 €	0,91	0,87	0,96
weiß nicht	1,34	0,66	2,71
keine Angabe	0,86	0,82	0,91
„Wohnen Sie in unmittelbarer Nähe einer Mobilfunksendeanlage?“ (Ref. Nein)			
Ja	1,18	1,14	1,21
Weiß nicht	1,16	1,13	1,19
Keine Angabe	1,04	0,91	1,18

Einflussfaktor	Rückgerechneter Schätzer	95 % Konfidenzintervall nach Wald	
Familienstand (Ref. Ledig)			
verheiratet	1,01	0,98	1,04
geschieden/getrennt lebend	1,06	1,02	1,10
keine Angabe	0,83	0,54	1,28
Höchster Schulabschluss (Ref. Realschule (mittlere Reife) POS)			
ohne Abschluss	1,25	1,09	1,44
Haupt-/Volksschule	1,07	1,04	1,10
Fachhochschulreife	1,00	0,96	1,04
Hochschulreife	0,96	0,93	1,00
anderer Abschluss	1,02	0,93	1,13
noch Schüler (Abschlussziel Haupt-	1,23	1,11	1,37
noch Schüler (Abschlussziel Hochschulreife)	1,20	1,09	1,32
noch Schüler (Abschlussziel offen)	1,66	1,10	2,52
keine Angabe	1,04	0,98	1,11
Höchster Berufsabschluss (Ref. Abgeschlossene Lehre/Berufsfachschule)			
Noch in Ausbildung/Lehre	1,10	1,01	1,19
Noch an Fachhochschule /Universität)	0,93	0,87	1,00
Abschluss Fachschule	1,02	0,98	1,06
Meister-/Techniker-Abschluss	0,97	0,93	1,02
Fachhochschulabschluss	0,98	0,93	1,02
Hochschulabschluss	0,89	0,85	0,93
Anderer beruflicher Abschluss	1,03	0,97	1,11
kein beruflicher Abschluss	1,12	1,07	1,18
keine Angabe	0,98	0,94	1,02
Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (Referenz: keine Attribution und keine Bedenken)			
Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen	1,44	1,40	1,49
Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen	1,11	1,08	1,14
Keine Angabe	0,99	0,95	1,03

Die Regression basiert auf 26.254 Daten, es lagen also 3.793 fehlende Werte im Beschwerdenscore vor.

Zur Interpretation ist folgendes anzumerken. Man geht vom rücktransformierten Achsenabschnitt (Intercept) aus und multipliziert mit den einzelnen rücktransformierten Parametern. Zum Beispiel bedeutet 1,42 beim Geschlecht, dass Frauen durchschnittlich einen 42 % höheren Score aufweisen als Männer.

Tabelle 4.39: Vergleich Zuordnung Modell und Originaldaten (gewichtet)

Klasseneinteilung der Originalränge	Klasseneinteilung der geschätzten Werte					
	0	1	2	3	4	
0	1.877,5	1.482,9	958,2	618,4	501,8	5.438,9
1	1.402,2	1.270,0	1.085,0	841,3	749,0	5.347,5
2	1.056,5	1.109,9	1.082,9	988,0	883,2	5.120,5
3	768,3	905,3	1.068,0	1.209,3	1.045,7	4.996,6
4	523,3	755,7	1.016,7	1.328,0	1.796,6	5.420,3
Total	5.627,9	5.523,8	5.210,8	4.985,0	4.976,3	26.323,8

Fehlende Werte = 3.723,4

Wenn man die Zuordnung in fünf Klassen durch das Modell mit der Einteilung der Originalwerte vergleicht, fällt auf, dass nur 27 % korrekt zugeordnet werden. Somit ist die Güte des Modells als moderat zu bezeichnen.

Fazit: Bei der Modellierung des Scores gibt es folgende Auffälligkeiten. Es gibt eine Zunahme über das Alter hinweg, jedoch ist in der Klasse der Ältesten von 60-70 Jahren, die dem Modell als Vergleichsklasse dient, ein rückläufiger Wert zu beobachten. Weiterhin ist zu bemerken, dass das Einkommen einen positiven Effekt auf den Beschwerdenscore hat. D. h. je größer das Haushaltseinkommen ist, desto geringer der Score. Den größten Einfluss haben jedoch das Geschlecht und die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen. Ein Trend ist auch beim Schulabschluss ersichtlich, so hat der höhere Abschluss einen niedrigeren Score zu erwarten. Etwas überraschend ist, dass der Score bei den Schülern durchschnittlich höhere Werte aufweist. Weiterhin hat die Frage nach dem Vorhandensein einer Mobilfunksendeanlage einen Einfluss auf das Ergebnis des Beschwerdenscores. So haben Personen, die diese Frage mit 'Ja' beantworten, einen höheren Wert als Befragte, die hierauf 'Nein' sagen.

4.4.1.5 Logistische Regressionen mit Einzelbeschwerden als Zielvariablen

Deskriptiv

Als auszuwertende Einzelbeschwerden werden die zwei am häufigsten im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern genannten Beschwerden festgelegt. Dies sind Kopfschmerzen und Schlafstörungen.

Tabelle 4.40: Beschwerde Kopfschmerzen und Schlafstörungen (gewichtet)

Klasseneinteilung	Beschwerde in %, gewichtet	
	Kopfschmerzen	Schlafstörungen
gar nicht, ein bisschen	74,02	82,81
mäßig, stark	25,98	17,19
Anzahl absolut	29.100	29.041

Man erkennt in Tabelle 4.40, dass rund ein Viertel der Befragten angeben, mäßig bis starke Kopfschmerzen zu haben und weniger als ein Fünftel, unter mäßigen oder starken Schlafstörungen zu leiden. Bei Kopfschmerzen fehlten 947, bei Schlafstörungen 1.006 Angaben.

Tabelle 4.41: Ergebnis der multiplen logistischen Regression: Einzelbeschwerde Kopfschmerzen

Einflussfaktor	Geschätztes OR	95 % Wald Konfidenzintervall	
Altersgruppen (Ref. 60-70)			
14-19	1,82	1,56	2,11
20-29	3,43	3,04	3,88
30-39	3,04	2,69	3,43
40-49	2,50	2,20	2,83
50-59	1,60	1,41	1,82
Geschlecht (Ref. männlich)			
weiblich	2,19	2,07	2,33
Einkommen (Ref. 1.000-2.000 €)			
unter 1.000 €	1,17	1,06	1,29
2.000 bis 3.000 €	0,92	0,85	0,99
3.000 bis 4.000 €	0,86	0,77	0,95
mehr als 4.000 €	0,86	0,75	0,90
keine Angabe	0,86	0,75	0,99
weiß nicht	<0,001	<0,001	<999
„Wohnen Sie in unmittelbarer Nähe einer Mobilfunksendeanlage?“ (Ref. Nein)			
Ja	1,20	1,11	1,31
Weiß nicht	1,17	1,09	1,25
keine Angabe	0,79	0,53	1,18
Beruf des Haushaltsvorstandes (Ref. Angestellte/-r)			
Arbeiter/-in	1,09	1,00	1,19
Beamter/-in	0,93	0,83	1,04
Landwirt/-in	0,85	0,56	1,29
selbständig/freiberuflich	0,87	0,77	0,97
Vorarbeiter/-in, Meister/-in	1,23	1,02	1,50
Wehr-/Zivildienstleistende/-r)	1,47	0,56	3,9
keine Angabe	0,91	0,83	1,00
Haushaltsgröße (Ref. 1 Person)			
2	1,24	1,15	1,35
3	1,29	1,17	1,42
4	1,34	1,21	1,48
5	1,48	1,28	1,72
6	1,45	1,11	1,89
7	2,60	1,52	4,46
8	0,60	0,19	1,97
9	0,70	0,05	9,86

Einflussfaktor	Geschätztes OR	95 % Wald Konfidenzintervall	
Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen (Ref.: keine Bedenken)			
Attribution	1,27	1,15	1,40
Besorgnis	1,02	0,95	1,11
Keine Angabe	0,97	0,86	1,09

Der Hosmer-Lemeshow-Test auf Anpassung weist einen p-Wert von 0,14 auf. Damit ist von einer ausreichenden Anpassung auszugehen.

Tabelle 4.42: Ergebnis der multiplen logistischen Regression: Einzelbeschwerde Schlafstörungen

Einflussfaktor	Geschätztes OR	95 % Wald Konfidenzintervall	
Altersgruppen (Ref. 60-70)			
14-19	0,22	0,18	0,27
20-29	0,49	0,43	0,55
30-39	0,63	0,56	0,70
40-49	0,84	0,75	0,94
50-59	1,20	1,07	1,34
Geschlecht (Ref. männlich)			
weiblich	1,63	1,52	1,75
Einkommen (Ref. 1.000-2.000 €)			
unter 1.000 €	1,25	1,13	1,39
2.000 bis 3.000 €	0,86	0,79	0,93
3.000 bis 4.000 €	0,78	0,69	0,87
mehr als 4.000 €	0,66	0,56	0,79
keine Angabe	0,79	0,67	0,93
weiß nicht	4,50	0,58	34,97
„Wohnen Sie in unmittelbarer Nähe einer Mobilfunksendeanlage?“ (Ref. Nein)			
Ja	1,35	1,23	1,48
Weiß nicht	1,22	1,13	1,33
keine Angabe	1,11	0,74	1,69
Beruf des Haushaltsvorstandes (Ref. Angestellte/-r)			
Arbeiter/-in	1,14	1,01	1,28
Beamter/-in	0,96	0,83	1,12
Landwirt/-in	1,10	0,63	1,92
selbständig/freiberuflich	1,06	0,91	1,23
Vorarbeiter/-in, Meister/-in	1,25	0,93	1,68
Wehr-/Zivildienstleistende/-r)	2,05	0,95	4,40
keine Angabe	1,25	1,14	1,37

Einflussfaktor	Ge- schätz- tes OR	95 % Wald Konfidenzintervall	
Bundesländer (Ref. Nordrhein-Westfalen)			
Schleswig-Holstein	1,10	0,91	1,33
Mecklenburg-Vorpommern	1,14	0,91	1,43
Niedersachsen	0,98	0,86	1,11
Hamburg	0,71	0,54	0,94
Bremen	0,97	0,66	1,44
Brandenburg	1,10	0,91	1,33
Sachsen-Anhalt	0,88	0,72	1,07
Berlin	0,93	0,77	1,12
Hessen	1,04	0,89	1,20
Thüringen	1,17	0,97	1,41
Sachsen	0,96	0,82	1,12
Rheinland-Pfalz	1,29	1,10	1,52
Saarland	1,22	0,91	1,64
Bayern	1,01	0,90	1,13
Baden-Württemberg	1,03	0,91	1,16
Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen (Ref.: keine Bedenken)			
Attribution von gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Mobilfunkseanlagen	1,80	1,62	2,00
Besorgnis wegen Mobilfunkseanlagen	1,05	0,96	1,16
Keine Angabe	1,11	0,98	1,26

Der p-Wert des Hosmer-Lemeshow-Tests liegt bei 0,63. Dies entspricht einer guten Anpassung.

Fazit logistische Regression Einzelbeschwerden

Vergleicht man die relevanten Einflussfaktoren des Modells mit dem Gesamtbeschwerdenscore mit denen des Modells der Einzelbeschwerden, sind diese fast dieselben. Bei den zwei Einzelbeschwerden ist v. a. die Wirkung des Einflussfaktors Alter verschieden. Schlafstörungen nehmen mit höherem Alter zu, wohingegen der Einfluss des Alters bei Kopfschmerzen ähnlich ist wie der bei Betrachtung des Modells, welches den Gesamtscore beinhaltet.

4.4.2 Mobilfunkseanlagen

Der Datensatz der Bundesnetzagentur beinhaltet wie in Kapitel 4.2 beschrieben alle Standorte von Mobilfunkseanlagen. Es besteht also die Möglichkeit, die Verteilung der Standorte bundesweit zu betrachten.

Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wird die Darstellung auf der Ebene der Kreise durchgeführt. Einmal geschieht dies bezogen auf die Fläche (pro 10 km²) und zum anderen bezogen auf die Einwohner (pro 10.000). Die Ballungsgebiete zeigen sich in den höheren Klassen, wenn man die Verteilung bezogen auf die Fläche (je 10 km²) betrachtet (Abbildung 4.5). Logischerweise ist das Mobilfunknetz dort dichter, wo voraussichtlich auch viele Personen telefonieren.

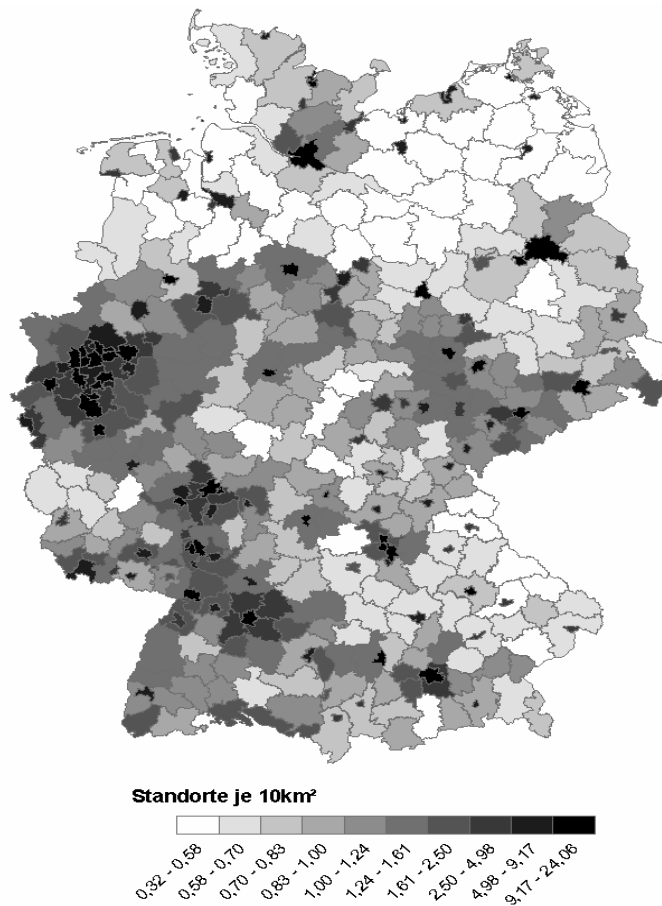


Abbildung 4.5: Mobilfunk-Standorte je 10km²

Man erkennt, dass vor allem in dünn besiedelten Gebieten mit flächenmäßig großen Kreisen (z.B. Mecklenburg-Vorpommern) die Anzahl der Standorte je 10.000 Einwohner relativ groß ist. Dies rührt wohl daher, dass die Fläche trotz dünner Besiedlung mit Mobilfunk versorgt wird (Abbildung 4.6).

Da diese Daten sich auf den August des Jahres 2004 beziehen, ist davon auszugehen, dass die Versorgung vor allem mit GSM900 und GSM1.800 bewerkstelligt wurde. Aufgrund von technischen Gegebenheiten dieses Systems sind dort, wo potentiell viele Gespräche geführt werden, die Funkzellen kleiner und damit die Anzahl der Mobilfunkstandorte größer.

Was keinesfalls an beiden Darstellungen abgelesen werden kann, ist die Belastung der Bevölkerung durch elektromagnetischen Felder, denn die Standortdichte korreliert nicht mit der Belastung des einzelnen. Die Abbildungen dienen ausschließlich der Darstellung der Verteilung der Standorte.

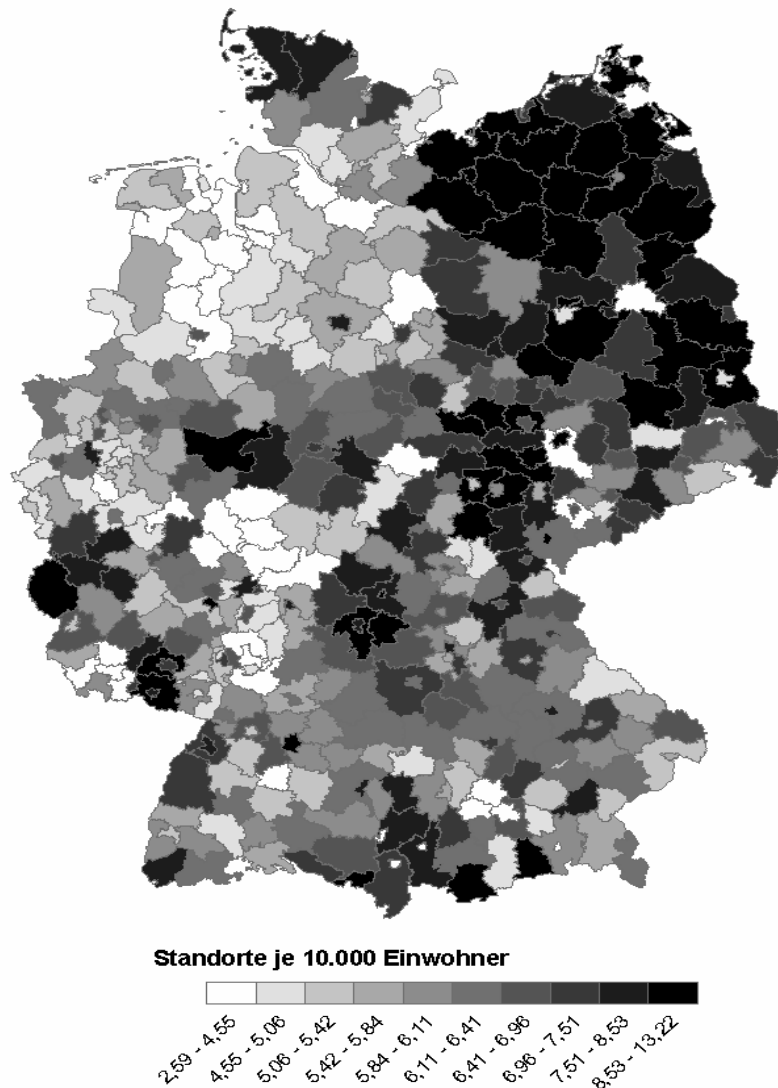


Abbildung 4.6: Mobilfunk-Standorte je 10.000 Einwohner (Einteilung 10 %-Perzentile)

4.4.3 Ergebnisse der verlinkten Daten (Basiserhebung und Datenbank der Bundesnetzagentur)

4.4.3.1 Entfernung zwischen Haushalt und Mobilfunksendeanlage

Die Daten der Standorte der Mobilfunksendeanlagen und die der Haushalte ließen sich mittels Geokodierung verknüpfen. Interessant ist vor allem bei wie vielen Haushalten des Panels innerhalb eines 500 m-Umkreises eine Sendeanlage vorzufinden ist. Wie schon in Kapitel 4.3 beschrieben gab es bei der erneuten Geokodierung durch das LVermA Nordrhein-Westfalen vor allem Probleme bei der Kodierung der Mobilfunksendeanlagen (Tabelle 4.43).

Tabelle 4.43: Geokodierung der Mobilfunksendeanlagen

Geokodiert durch	Anzahl	Prozent
Bundesnetzagentur kodiert	30.164	59,3 %
LVermA <i>eingeschickt</i>	31.477	
kodiert	20.620	40,6 %
nicht kodiert	77	0,2 %
Gesamt	50.861	

So konnte nur weniger als die Hälfte durch das Landesvermessungsamt identifiziert werden. Unter den 50.861 Geokoordinaten der Bundesnetzagentur befinden sich auch 8.492 Standortangaben, die gar nicht an das Landesvermessungsamt geschickt werden konnten, da diese sich auf Flurstücken befinden, die das LVermA als Angabe nicht verarbeiten kann (Tabelle 4.43).

Bei den 23.264 Haushalten aus den Bundesländern, die Koordinaten beim LVermA vorliegen haben, stellt sich die Lage bedeutend besser dar. Hier konnten für 88% (20.432 / 23.264) der Haushalte die Koordinaten der LVermA verwendet werden. Bei den restlichen 12% musste auf die schlechtere Geokodierung der Post Direkt GmbH zurückgegriffen werden (Tabelle 4.44). Insgesamt konnten somit 68 % aller Haushalte des Panels mit der genauen Kodierung des LVermA versehen werden.

Tabelle 4.44: Geokodierung der Haushalte

Geokodiert durch	Anzahl	Prozent
Post Direkt GmbH kodiert	9.373	31,2%
LVermA <i>eingeschickt</i>	23.264	
kodiert	20.432	68,0%
Nicht kodiert	242	0,8%
Geamt	30.047	

Alle weiteren Angaben in diesem Kapitel beziehen sich auf die Haushalte und die Mobilfunksendeanlagen, die durch die Verknüpfung unter der Bedingung des maximalen Abstands von 500 m zusammengeführt werden konnten.

Von den 29.805 Haushalten des Panels mit Geokodierung haben 14.503 eine Sendeanlage innerhalb ihres 500 m Umkreises, dies entspricht 48,7 %. Nach Gewichtung für die Ortsgrößenklassen steigt der Anteil der Haushalte, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, auf 51,5 %. Für die Darstellung der Anteile der Haushalte, die eine Sendeanlage in maximal 500 m Entfernung haben, wird eine Karte der Bundesrepublik Deutschland auf der Ebene von Regierungsbezirken verwendet; für eine Darstellung auf detaillierterer Ebene reicht die Anzahl der Panelteilnehmer nicht aus.

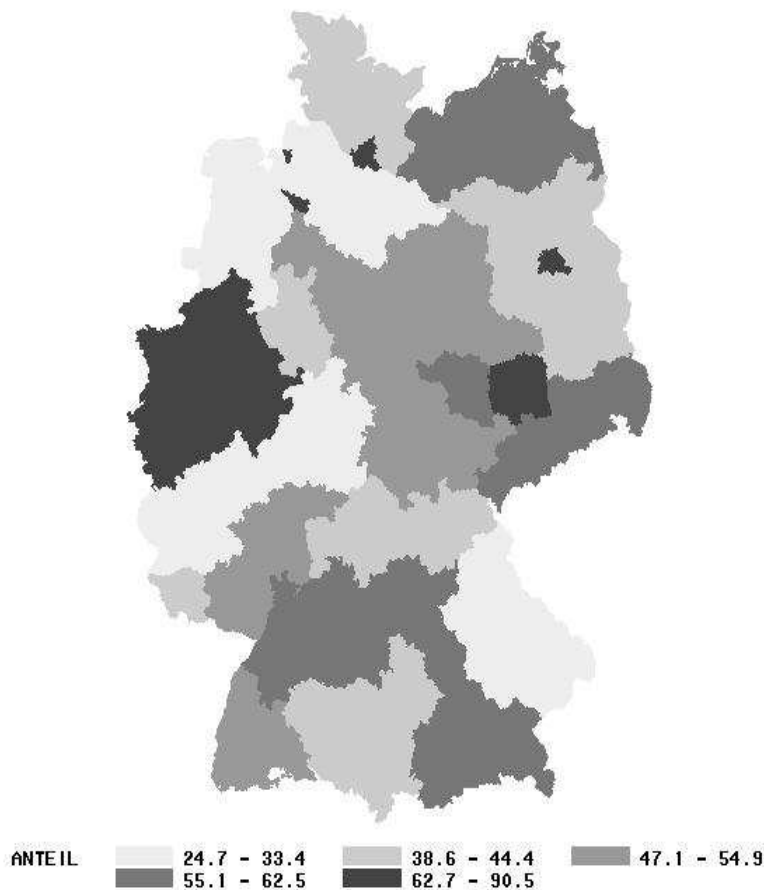


Abbildung 4.7: Anteil der Haushalte mit mind. einer Mobilfunksendeanlage im 500 m Umkreis

In Abbildung 4.7 ist auf Regierungsbezirksebene der Anteil der Haushalte des Panels dargestellt, bei denen sich mindestens ein Mobilfunkstandort im Umkreis von 500 m befindet, gewichtet nach Gemeindegrößenklassen. Die Einteilung bei der Darstellung beruht auf Quintilen. Da die Darstellung der Anteile der Haushalte mit mindestens einer Mobilfunksendeanlage auf Regierungsbezirksebene erfolgt, mussten aus der Auswertung außer den 242 Haushalten ohne Geokodierung zusätzlich 39 Haushalte unberücksichtigt bleiben, bei denen die Regierungsbezirksnummer nicht vorhanden ist. Damit ist die Bezugsgröße für die Haushalte 29.766. Dies ist auch die Basis von Tabelle 4.45.

Man erkennt, dass vor allem in dicht besiedelten Räumen die Haushalte mit Sendeanlagen im 500 m Umkreis vorzufinden sind. Dies sind die Stadtstaaten Bremen, Hamburg und Berlin. Aber auch der Regierungsbezirk Düsseldorf und allgemein die Gebiete um das Ruhrgebiet weisen höhere Anteile auf. Etwas überraschend ist der relativ hohe Anteil in Mecklenburg-Vorpommern, wo laut der Grafik „Standorte je 10 km²“ nur sehr wenige Standorte zu erwarten sind.

Es bleibt festzuhalten, dass sich etwa die Hälfte der Haushalte des Panels im 500 m Umkreis mindestens einer Sendeanlage befindet. Der Unterschied zwischen Stadt und Land ist bedeutend. Der Anteil in den Städten kann gut 90 % erreichen und auf dem Land auf etwa 25 % fallen. Es wird erneut darauf hingewiesen, dass eine Sendeanlage im 500 m Umkreis nicht mit erhöhter Exposition gleichzusetzen ist, da es zusätzliche Faktoren gibt, die diese beeinflussen. Solche Faktoren sind zum Beispiel die Abschirmung durch Gebäude oder Hauswände.

Tabelle 4.45: Anteil der Teilnehmer in Haushalten mit mindestens eine Mobilfunksendeanlage im Umkreis von 500 m nach Regierungsbezirken (gewichtet)

KKZ	Regierungsbezirk	Anteil in %	KKZ	Regierungsbezirk	Anteil in %
10	Schleswig-Holstein	43,5	83	Freiburg	48,3
20	Hamburg	80,4	84	Tübingen	43,9
31	Braunschweig	47,7	91	Oberbayern	56,1
32	Hannover	49,3	92	Niederbayern	27,7
33	Lüneburg	24,7	93	Oberpfalz	32,9
34	Weser-Ems	30,8	94	Oberfranken	40,8
40	Bremen	75,5	95	Mittelfranken	55,6
51	Düsseldorf	74,4	96	Unterfranken	44,4
53	Köln	64,4	97	Schwaben	39,2
55	Münster	62,7	100	Saarland	38,6
57	Detmold	40,7	110	Berlin	90,5
59	Arnsberg	63,5	120	Brandenburg	42,5
64	Darmstadt	54,9	130	Mecklenburg-Vorpommern	57,3
65	Gießen	25,8	141	Chemnitz	55,3
66	Kassel	27,9	142	Dresden	55,1
71	Koblenz	33,4	143	Leipzig	64,1
72	Trier	29,6	151	Dessau	49,7
73	Rhein Hessen-Pfalz	48,2	152	Halle	61,5
81	Stuttgart	62,5	153	Magdeburg	52,5
82	Karlsruhe	58,0	160	Thüringen	47,1

In Tabelle 4.46 sind die objektiven, also die anhand der Geokoordinaten berechneten Abstände den Angaben zur Frage „Wohnen Sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunksendeanlage?“ gegenübergestellt. Nur 21,3 % der befragten Personen, die nach den Berechnungen im Bereich von 500 m zu einer Sendeanlage wohnen, geben eine entsprechende Antwort. Fast die Hälfte der Befragten dieser Gruppe ist dagegen der Meinung, nicht in unmittelbarer Nähe einer Sendeanlage zu wohnen.

Tabelle 4.46: Einschätzung der Nähe der nächsten Mobilfunkendeanlage vs. objektiver Abstand zur nächstgelegenen Sendeanlage (gewichtet)

„Wohnen Sie in unmittelbarer Umgebung einer Mobilfunkendeanlage?“	Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)			
	absolut		%	
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)	ja	nein	ja	nein
ja	3.376	1.682	11,3	5,6
nein	7.170	9.026	24,0	30,3
weiß nicht	5.291	3.043	17,7	10,2
Keine Angabe	237		0,8	
Gesamt	29.824		100,0	

Von den 3.376 Personen, die sowohl mit „ja“ geantwortet haben als auch eine Sendeanlage im Umkreis von 500 m haben, schätzen 82 % den Abstand zur Sendeanlage auf bis zu 500 m und 18 % den Abstand auf mehr als 500 m (ohne Tabelle).

Tabelle 4.47: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Mobilfunkendeanlage haben, nach Geschlecht sowie Alter und Familienstand, gewichtet

N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
		ja	nein
Geschlecht	Alle	53,5	46,5
	männlich	52,1	47,9
	weiblich	55,0	45,0
Alter	14-19	42,8	57,2
	20-29	59,5	40,5
	30-39	51,5	48,5
	40-49	47,3	52,7
	50-59	57,1	42,9
	60-69	60,8	39,2
Familienstand	ledig	59,0	41,0
	verheiratet	45,7	54,3
	geschieden/ getrennt lebend/ verwitwet	63,3	36,7
	keine Angabe	53,4	46,6

Bei der geschlechtsspezifischen Auswertung ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede bei den Anteilen an Probanden, die in der Nähe einer Sendeanlage wohnen. Die Anteile liegen sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen bei jeweils über 50 %.

Die Altersgruppe der 60- bis 69-Jährigen ist die Gruppe, von der am meisten Personen in der Nähe einer Sendeanlage leben. In der Gruppe der 14- bis 19-jährigen Teilnehmer ist der Anteil am niedrigsten.

Beim Familienstand bilden die verheirateten Teilnehmer (45,7 %) und die geschiedenen, verwitweten oder getrennt lebenden Personen (63,3 %) die Extremgruppen (Tabelle 4.47).

Tabelle 4.48: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Einkommen (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)		ja	nein
Einkommen	bis unter 1000 €	67,1	32,9
	1.000 bis unter 2.000 €	56,5	43,5
	2.000 bis unter 3.000 €	48,2	51,8
	3.000 bis unter 4.000 €	47,9	52,1
	4.000 bis unter 5.000 €	48,8	51,2
	über 5.000 €	50,3	49,7
	weiß nicht	78,3	21,7
	keine Angabe	48,7	513,0

In Tabelle 4.48 findet sich eine inverse Beziehung zwischen der Höhe des Einkommens und dem Anteil der Personen, die in der Nähe (<500 m) einer Sendeanlage wohnen. Die Anteile sinken von 67,1 % (bis unter 1.000 €) auf 50,3 % (über 5.000 €).

Tabelle 4.49: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach höchstem Schulabschluss (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)		ja	nein
Höchster Schulab- schluss	Abschluss Haupt-/ Volksschule	51,0	49,0
	Abschluss Realschule (Mittlere Reife)/POS	50,9	49,1
	Abschluss mit Fachhochschulreife	54,4	45,6
	Abschluss mit Hochschulreife (Abitur)	62,4	37,6
	Anderer Schulabschluss	57,2	42,8
	Noch Schüler	44,6	55,4
	ohne Abschluss (Schullaufbahn beendet)	59,3	40,7
	keine Angabe	54,0	46,0

Der Anteil derjenigen, die in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage wohnen, steigt mit der Schulbildung an. Ausgenommen ist hier die Gruppe der Probanden ohne Abschluss, die mit 59,3 % nahe bei den Teilnehmern mit Hochschulreife (62,4 %) liegen (Tabelle 4.49).

Tabelle 4.50: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach höchstem Berufsabschluss (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)		ja	nein
Höchster Berufsab- schluss	Noch in Ausbildung/Lehre	42,1	57,9
	Noch an Fachhochschule/Universität	69,8	30,2
	Abschluss Fachschule	54,5	45,5
	Abgeschlossene Lehre/Berufsfachschule	52,7	47,3
	Meister-/Technikerabschluss	46,2	53,8
	Fachhochschulabschluss	57,9	42,1
	Hochschulabschluss	62,0	38,0
	Anderer beruflicher Abschluss	57,9	42,1
	kein beruflicher Abschluss	55,5	44,5
keine Angabe	47,9	52,1	

Bei der Analyse nach den höchsten Berufsabschlüssen finden sich die größten Anteile an Personen, die in der Nähe einer Sendeanlage wohnen, unter denjenigen mit Hochschulabschluss und den noch an einer Fachhochschule oder Universität studierenden Probanden (Tabelle 4.50). Der geringste Anteil findet sich bei den sich in einer Lehre/Ausbildung befindenden Personen.

Tabelle 4.51: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Beruf des Haushaltsvorstandes (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
		ja	nein
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)			
Beruf des Haushalts- vorstandes	Selbständig/freiberuflich tätig	50,4	49,6
	Landwirt/-in	21,9	78,1
	Beamter/-in	51,6	48,4
	Angestellte/-r	54,2	45,8
	Arbeiter/-in, Facharbeiter/-in	45,6	54,4
	Vorarbeiter/-in, Meister/-in	40,0	60,0
	Wehr-/Zivildienstleistende/-r	45,1	54,9
	keine Angabe	60,8	39,2

Die Anteile derjenigen, die in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage wohnen, schwankt bei der Auswertung nach dem Beruf des Haushaltsvorstandes zwischen 21,9 % bei den Landwirten und 54,2 % bei den Angestellten. Die größte Gruppe findet sich bei denjenigen, die keine Angaben zum Beruf des Haushaltsvorstandes gemacht haben. Insofern sind die Angaben aus dieser Gruppe nicht weiter interpretierbar (Tabelle 4.51).

Tabelle 4.52: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Haushaltsgröße (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
		ja	nein
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)			
Haushaltsgröße	1 Person	70,3	29,7
	2 Personen	56,9	43,1
	3 Personen	42,6	57,4
	4 Personen	37,1	62,9
	5 Personen	36,6	63,4
	Mehr als 5 Personen	33,3	66,7

In Tabelle 4.52 findet sich ein eindeutiger Trend: Mit der Anzahl der Personen im Haushalt sinkt der Anteil der Haushalte, die im Umkreis von 500 m zu einer Mobilfunksendeanlage stehen. Die Ergebnisse liegen zwischen 70,3 % für 1-Personen-Haushalte und 33,3 % für Haushalte mit mehr als 5 Personen.

Tabelle 4.53: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Bundesland (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
		ja	nein
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)			
Bundesländer	Schleswig-Holstein	43,5	56,5
	Mecklenburg-Vorpommern	57,3	42,7
	Niedersachsen	38,7	61,3
	Hamburg	80,4	19,6
	Bremen	75,5	24,5
	Brandenburg	42,4	57,6
	Sachsen-Anhalt	54,9	45,1
	Berlin	90,5	9,5
	Nordrhein-Westfalen	64,3	35,7
	Hessen	42,1	57,9
	Thüringen	47,2	52,8
	Sachsen	57,2	42,8
	Rheinland-Pfalz	40,2	59,8
	Saarland	38,5	61,5
	Bayern	45,8	54,2
	Baden-Württemberg	56,1	43,9

In den Stadtstaaten, allen voran Berlin mit 90,5 %, liegen die Anteile der Haushalte mit einer Sendeanlage im Umkreis von 500 m höher als in den übrigen Bundesländern. Die niedrigsten Anteile haben das Saarland (38,5 %) und Niedersachsen mit 38,7 % (Tabelle 4.53).

Tabelle 4.54: Anteil der Teilnehmer in Haushalten, die in 500 m Umkreis eine Sendeanlage haben, nach Ortsgrößenklasse (gewichtet)

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m (Angaben in %)	
		ja	nein
N = 29.824, gewichtet (N = 29.805, ungewichtet)			
Ortsgrößenklasse	Einwohner		
	Bis 5000	22,7	77,3
	5.000 bis 19.999	36,3	63,7
	20.000 bis 49.999	53,1	46,9
	50.000 bis 99.999	64,9	35,1
	100.000 bis 499.999	80,6	19,4
	500.000 und mehr	87,9	12,1

Mit steigender Zahl der Einwohner eines Ortes nimmt auch die Zahl der Haushalte zu, die in ihrer Nähe eine Sendeanlage haben. Während in Orten mit bis zu 5.000 Einwohnern nur 22,7 % der Haushalte von dem Sachverhalt betroffen sind, liegen in den Großstädten mit mehr als

500.000 Einwohnern 87,9 % der Haushalte in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage (Tabelle 4.54).

Tabelle 4.55: Logistische Regression mit der Zielgröße Mobilfunksendeanlage im 500 m Umkreis ja oder nein

		Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m		
N = 29.805, ungewichtet		OR	95 % Konfidenzintervall	
Geschlecht	Referenz: männlich	1,00		
	weiblich	0,97	0,92	1,02
Altersgruppen	Referenz: 60- bis 70-Jährige	1,00		
	14-19	0,91	0,75	1,10
	20-29	1,05	0,93	1,19
	30-39	1,04	0,93	1,15
	40-49	1,09	0,99	1,21
	50-59	1,08	0,98	1,19
Haushaltsgröße	OR entspricht Steigung bei Zunahme um 1	0,91	0,88	0,94
Bundesländer	Referenz: Nordrhein-Westfalen	1,00		
	Schleswig-Holstein	1,16	0,99	1,35
	Hamburg	0,61	0,49	0,77
	Niedersachsen	0,66	0,59	0,73
	Bremen	0,55	0,41	0,73
	Hessen	0,95	0,85	1,07
	Rheinland-Pfalz	1,31	1,14	1,51
	Baden-Württemberg	1,45	1,32	1,59
	Bayern	1,26	1,14	1,38
	Saarland	0,85	0,67	1,07
	Berlin	1,35	1,11	1,64
	Brandenburg	1,06	0,91	1,23
	Mecklenburg-Vorpommern	1,49	1,23	1,80
	Sachsen	1,89	1,67	2,14
	Sachsen-Anhalt	1,77	1,52	2,07
Thüringen	1,51	1,29	1,76	
Familienstand	Referenz: ledig	1,00		
	verheiratet	0,82	0,75	0,89
	geschieden/getrennt	0,95	0,86	1,04
	keine Angabe	1,51	0,66	3,42
Ortsgrößenklasse	OR entspricht Steigung bei Zunahme um 1	1,91	1,86	1,96
Einkommen	Referenz: mehr als 5.000 €	1,00		

Sendeanlage im Abstand von bis zu 500 m				
	unter 1.000 €	1,10	0,91	1,33
	1.000 bis unter 2.000 €	0,97	0,81	1,15
	2.000 bis unter 3.000 €	0,91	0,77	1,09
	3.000 bis unter 4.000 €	0,91	0,76	1,08
	4.000 bis unter 5.000 €	0,85	0,69	1,05
	keine Angabe	0,83	0,68	1,01
Schulabschluss	Referenz: Realschulabschluss	1,00		
	ohne Abschluss (Schullaufbahn beendet)	1,43	0,96	2,12
	Abschluss Haupt-/ Volksschule	1,07	1,00	1,15
	Abschluss mit Fachhochschulreife	0,97	0,88	1,07
	Abschluss mit Hochschulreife (Abitur)	1,06	0,98	1,15
	Anderer Schulabschluss	0,98	0,75	1,28
	Noch Schüler	1,15	0,97	1,37
	keine Angabe	1,21	1,04	1,41
Beruf des Haushalts- vorstandes	Referenz: Angestellte/-r	1,00		
	selbständig/freiberuflich tätig	0,90	0,81	1,00
	Landwirt/-in	0,52	0,35	0,78
	Beamte/-in	0,96	0,88	1,06
	Arbeiter/-in, Facharbeiter/-in	0,95	0,88	1,03
	Vorarbeiter/-in, Meister/-in	0,86	0,72	1,03
	Wehr-/Zivildienst	0,49	0,17	1,43
	keine Angabe	1,03	0,95	1,12

Im multiplen logistischen Regressionsmodell (Tabelle 4.55) zeigen sich für die Haushaltsgröße und die Ortsgrößenklasse statistisch signifikante Effekte. Für das Geschlecht und die Altersgruppen zeigen sich aufgrund der Adjustierung für die weiteren im Regressionsmodell enthaltenen Variablen keine nennenswerten Effekte. Auch für den höchsten Schulabschluss, das Einkommen und den Beruf des Haushaltsvorstandes sind die Effekte äußerst gering. Hier sind Wechselwirkungen zwischen den Variablen möglich, die bisher aber nicht untersucht wurden.

4.4.3.2 Anwendung des Expositionsmaßes auf die Basiserhebung

30.047 Haushalte wurden geokodiert. 14.481 haben mindestens eine Sendeanlage in 500 m Umkreis. Das ist knapp über die Hälfte der befragten Haushalte. Bei 80 Haushalten ließen sich keine Expositionen berechnen, da diesen nur ein Antennenstandort zugewiesen wurde und dieser sich auf dem gleichen Haus befand. Deswegen entspricht der Abstand berechnet über die Geokodierung 0 m. Wenn sich mehrere Standorte in 500 m Umkreis befinden und einer direkt auf dem Dach der Wohnung, so wird dieser Standort bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Aus bisher nicht geklärten Gründen lieferte das ECOLOG-Modell bei 23 weiteren Haushalten keine Leistungsflussdichten. Damit stehen für 14.378 Haushalte berechnete Leistungsflussdichten zur Verfügung.

Die Verteilung der berechneten Leistungsflussdichten in mW/m^2 sind dem folgenden Histogramm (Abbildung 4.8) zu entnehmen.

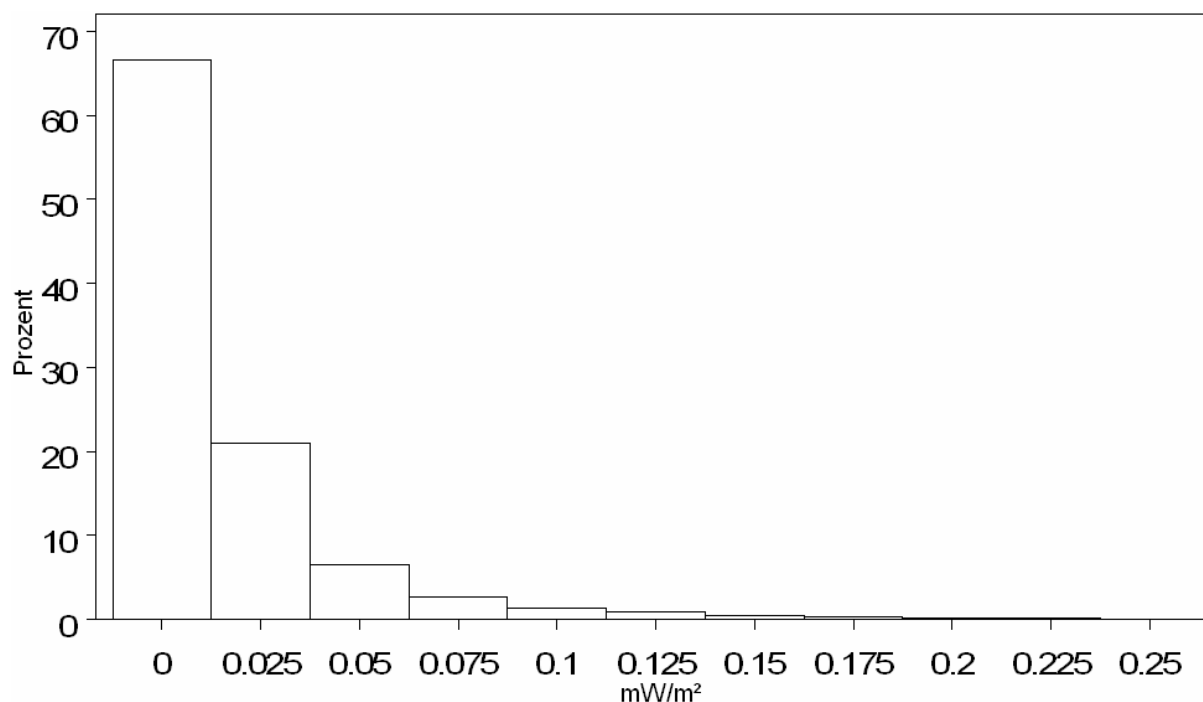


Abbildung 4.8: Histogramm der berechneten Leistungsflussdichten

Werte über $0,25 \text{ mW}/\text{m}^2$ sind aus der Abbildung ausgeschlossen (88 Haushalte), da diese das Histogramm zu stark verzerren würden. Der höchste berechnete Wert einer Innenraumexposition liegt bei $2,01 \text{ mW}/\text{m}^2$.

Eine weitere Bewertung ist möglich, indem in einzelnen Unterkategorien der Median der berechneten Leistungsflussdichten berechnet wird. Die herangezogenen Variablen sind:

- Anzahl Antennen im 500 m Umkreis,
- Anzahl Standorte im 500 m Umkreis,
- Abstand zur nächsten Antenne,
- Sichtverhältnisse vor dem Schlafzimmerfenster,
- Urbanität.

Angaben zu den Variablen sind in Tabelle 4.56 bis Tabelle 4.57 aufgeführt.

Tabelle 4.56: Haushalte mit und ohne Mobilfunksendeanlage in 500 m Umkreis

	Anzahl Haushalte	Anteil an allen Haushalten in %	Mediane Leistungsflussdichte in mW/m^2
$\leq 500 \text{ m}$ mit Expositionsschätzung	14.378	47,9	0,0060
ohne Expositionsschätzung	103	0,3	-
$> 500 \text{ m}$	15.566	51,8	-
Alle	30.047	100	-

Tabelle 4.57: Kategorisierte, mediane Leistungsflussdichten in mW/m² der Haushalte

			Haushalte mit Standorten im 500 m Umkreis mit Expositionsschätzung		
	N	Anteil an allen Haushalten in %	N	Anteil in %	Mediane Leistungsflussdichte in mW/m ²
Gesamt	29.944	100,0	14.378	47,9	0,0060
Anzahl Antennen im Umkreis von 500m					
0	15.566	52,0			
1-4	3.518	11,8	3.518	24,5	0,0009
5-10	4.251	14,2	4.251	29,6	0,0036
11-20	3.564	11,9	3.564	24,8	0,0100
21-30	1.870	6,2	1.870	13,0	0,0192
>30	1.175	3,9	1.175	8,2	0,0371
Anzahl Standorte im Umkreis von 500m					
0	15.566	52,0			
1	7.042	23,5	7.042	49,0	0,0019
2	3.410	11,4	3.410	23,7	0,0076
3	1.710	5,7	1.710	11,9	0,0141
>3	2.216	7,4	2.216	15,4	0,0290
Abstand nächste Antenne in Meter					
> 0 bis ≤ 100	1.426	4,8	1.426	9,9	0,0193
> 100 bis ≤ 200	3.179	10,6	3.179	22,1	0,0197
> 200 bis ≤ 300	3.597	12,0	3.597	25,0	0,0088
> 300 bis ≤ 400	3.358	11,2	3.358	23,4	0,0030
> 400 bis ≤ 500	2.818	9,4	2.818	19,6	0,0010
> 500	15.566	52,0			
Sicht vom Schlafzimmerfenster aus*					
Bäume und Büsche	9.562	31,9	4.746	33,0	0,0055
Andere Gebäude	9.325	31,1	5.216	36,3	0,0071
Wälle und Wände	505	1,7	244	1,7	0,0064
Freie Sicht	12.886	43,0	5.504	38,3	0,0059
Urbanität					
Ländlich	14.968	50,0	4.052	28,2	0,0021
Vorstädtisch	9.137	30,5	5.449	37,9	0,0049
Städtisch	5.692	19,0	4.812	33,5	0,0158
Keine Angabe	147	0,5	65	0,5	0,0000

*Mehrfachnennungen möglich

Mit der Anzahl der Antennen und Standorte, die in 500 m Umkreis einer Wohnung sind, steigt die Leistungsflussdichte, der ein Haushalt ausgesetzt ist. Eine Überprüfung desjenigen Haushalts, der die meisten Antennen im 500m-Umkreis aufweist (über 300 Antennen), ergab, dass dieser Haushalt in der Nähe eines Messegeländes zu finden ist. Somit ist der "Ausreißer" erklärbar.

Die mediane Leistungsflussdichte in mW/m^2 nimmt mit zunehmendem Abstand ab. Eine Ausnahme bildet hierbei der 0 m bis 100 m Umkreis um die Antennen. Eine verminderte Sicht vom Fenster des Schlafzimmers aus diskriminiert die Größe der Leistungsflussdichte wenig, da die Sichtverhältnisse nur dann von Bedeutung sind, wenn die Fenster der Immissionsräume in Richtung der Sendeanlagen weisen und die Bebauung eine geradlinige Ausbreitung von einer Sendeantenne zum Immissionsort zulässt. Dies ist nur in vergleichsweise wenigen Fällen gegeben.

Die Leistungsflussdichte steigt mit steigender Urbanität. Die Angabe über die Urbanität entstammt der Befragung.

4.5 Diskussion

Der Anteil der Personen, deren Wohnungen im Umkreis von 500 m keine Mobilfunksendeanlage haben, ist mit 47,0 % höher als von vielen Wissenschaftlern, Technikern und Unternehmen erwartet. Dabei kann aufgrund der Messergebnisse des ECOLOG-Instituts davon ausgegangen werden, dass Personen, deren Wohnung weiter als 500 m von der nächsten Mobilfunksendeanlage entfernt liegt, kaum durch die hochfrequenten elektromagnetischen Felder dieser Anlage exponiert sind (Neitzke et al. 2005). Der gemessene Wert in den Innenräumen von Wohnungen für die Mobilfunkimmission als Summe der Mittelwerte aus GSM 900 und GSM 1800 übersteigt bei mehr als 500 m Entfernung nicht den Wert von $0,01 \text{ mW/m}^2$. Dieser Wert liegt z. B. bezogen auf GSM 1800 um das rund 900.000-fache unterhalb des Grenzwertes nach der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) mit $9.200,00 \text{ mW/m}^2$ oder $9,2 \text{ W/m}^2$. Allerdings gilt nicht, dass Wohnungen, die näher als 500 m an einer Mobilfunksendeanlage liegen, immer einen höheren Wert aufweisen. Nach den vorliegenden Messungen im Forschungsprojekt „Bestimmung der Expositionen von Personengruppen im Rahmen des Projektes QUEBEB“ weisen diese Wohnungen auch noch zu mehr als 50 % Werte auf, die als Summe der Mittelwerte aus GSM 900 und GSM 1800 $0,01 \text{ mW/m}^2$ nicht übersteigen. Im Ecolog-Projekt konnte gezeigt werden, dass das reine Abstandsmaß zur Expositionsabschätzung gerade bei Wohnungen, die in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage liegen, kaum aussagekräftige Ergebnisse bietet. Wichtige Einflussfaktoren, die hierbei eine Rolle spielen, sind dagegen die Sichtbarkeit der Mobilfunksendeanlage, die Art und der Umfang der Umgebungsbebauung und die Ausrichtung der Mobilfunksendeanlage zu der jeweiligen Wohnung (Neitzke et al. 2005). Das vom Ecolog-Institut entwickelte Expositionsmaß berücksichtigte deshalb diese Faktoren. Eine anschließende Bewertung des Expositionsmaßes zeigte sehr gute Ergebnisse.

Dabei erscheint das Expositionsmaß des ECOLOG-Institutes mit einem Kappa von 0,5 und somit einem moderaten Zusammenhang zwischen Messwerten und berechneten Werten geeignet zur Anwendung in der QUEBEB-Studie (Possner et al. 1990). Allerdings muss einschränkend angeführt werden, dass die hier dargestellte Bewertung der Qualität des Expositionsmaßes auf den gleichen Daten, die auch zur Modellentwicklung verwendet wurden, basiert. Ein Vergleich von Kontrollmessungen und Expositionsmaß ist dem Abschlussbericht des ECOLOG-Instituts zu entnehmen (Neitzke et al. 2005). Der Bland-Altman-Plot zeigt keine systematische Über- oder Unterschätzung in Abhängigkeit der logarithmierten Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten. Extreme Abweichungen, die außerhalb des 95%-Konfidenzintervalls liegen, treten zufällig auf und scheinen deswegen unabhängig vom Expositionsmaß zu sein. Jedoch weist die Ratio eine große Streuung auf. Diese ist aber unabhängig von der Größe der logarithmierten Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten. Das Modell ist damit intern valide. Unter der Annahme, dass die aufgeführte Sensitivität und Spezifität den wahren Werten entspricht, würde sich ein wahres OR von 2 auf ein messbares von 1,5 reduzieren (Prävalenz der Befindlichkeitsstörung 20%, Prävalenz Exposition 10%). Eine weitergehende Validierung des Expositionsmaßes ist erst möglich, wenn genügend gemessene Werte zur Verfügung stehen und mit berechneten Leistungsflussdichten verglichen werden können (externe Validität). Dies wurde ebenfalls im Ergebnisbericht des ECOLOG-Instituts angemerkt (Neitzke et al. 2005). Da hier ein Vergleich von berechneten und gemessenen Daten stattfindet, die zur Modellentwicklung dienten, ist es möglich, dass die wahre Sensitivität und Spezifität niedriger liegen. Mit anderen Worten, die wahre Missklassifikation wird somit unterschätzt. Eine Überprüfung der externen Validität ist eine weitere wichtige Aufgabe, deren Auswertung noch aussteht.

Allerdings ersetzt dieses Expositionsmaß nicht die in der Vertiefungserhebung geplanten Messwerte, da der wahre Zusammenhang zwischen der Exposition durch die hochfrequenten elektromagnetischen Felder der Mobilfunksendeanlagen und den Befindlichkeitsstörungen vermutlich unterschätzt wird. Bei einer gegebenen Sensitivität von 0,50 und einer Spezifität von 0,95 kann davon ausgegangen werden, dass der berechnete Schätzer nur halb so hoch ist wie der wahre Wert (Neubauer et al. 2005).

Die rein technische Anwendung des Expositionsmaßes auf die Daten der Basiserhebung der QUEBEB-Studie erwies sich als unproblematisch. Die Zusammenführung der Sendeanlagendatenbank mit der der befragten Haushalte geschah auf Basis der Geokodierung.

Die Verteilung der berechneten Leistungsflussdichten liegt im Erwartungsbereich. So erscheint das Maximum vom 2,01 mW/m² nach Angaben aus dem Abschlussbericht von Neitzke et al. (2005) plausibel. Die Überprüfung der Leistungsflussdichten hinsichtlich bestimmter Kategorien ergab keine Auffälligkeiten. Die Leistungsflussdichten nehmen mit Zunahme der Urbanität zu.

Die Zusammenführung von Haushalten und Mobilfunksendeanlagen erlaubte damit die Abschätzung der Expositionen in den Haushalten. Damit war eine Abschätzung der Exposition auf aggregierter - also regionaler - Ebene möglich. Dank des Expositionsmaßes konnte die Auswahl der Studiengebiete für Phase III der QUEBEB-Studie erfolgen, d.h. es wurden mit dem Expositionsmaß die Regionen identifiziert, in denen möglichst viele vergleichsweise hochexponierte Haushalte vorhanden waren.

In dem internationalen Bericht hinsichtlich der Machbarkeit epidemiologischer Studien zu den gesundheitlichen Risiken durch Mobilfunksendeanlagen wird zunächst empfohlen, Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in einem deskriptiven Ansatz darzustellen (Neubauer et al. 2005). Dabei handelt es sich um einen Ansatz, der durch diese Querschnittserhebung realisiert ist und in den nächsten Absätzen diskutiert wird.

Bundesweite Unterschiede treten bei der regionalen Betrachtung der Mobilfunksendeanlagen auf. Wird die Anzahl der Anlagen auf die Fläche des jeweiligen Kreises bezogen, kann eine klare Differenzierung hinsichtlich der Stadt-Land-Regionen aufgezeigt werden. Große Ballungszentren weisen im Vergleich zu eher ländlichen Regionen pro Flächeneinheit einen hohen Anteil an Mobilfunksendeanlagen auf. Bezogen auf die Anzahl der Bevölkerung in den jeweiligen Kreisen weisen gerade die dünn besiedelten Regionen (wie z. B. der Nordosten Deutschlands, aber auch die Eifel, das Sauerland bzw. das Allgäu) eine Basisstandortdichte von über 8 je 10.000 Einwohner auf. Dieser Wert liegt gerade in den städtischen Gebieten mit wenigen Ausnahmen unter 5 je 10.000 Einwohner. Die Ursache dafür liegt vermutlich in der geringen Bevölkerungsdichte. Es werden mehr Mobilfunksendeanlagen pro 10.000 Personen der Wohnbevölkerung benötigt, um eine vollständige Netzabdeckung zu bewerkstelligen. Allerdings sei hier angemerkt, dass gerade bezogen auf die Dichte der Mobilfunksendeanlagen die Unterschiede gering sind. Sie variiert zwischen 2,6 und 13,2 pro 10.000 Einwohner. Interessant ist ferner, dass eine etwas höhere Standortdichte (über 8 je 10.000 Einwohner) gerade in den ländlichen Regionen Deutschlands anzutreffen ist.

Ein Hauptziel der Basiserhebung war eine bundesweite repräsentative Schätzung der Prävalenz von Bedenken wegen möglicher gesundheitlicher Auswirkungen durch die Exposition durch Mobilfunksendeanlagen. Die Prävalenz wurde zunächst mit einem deskriptiven Ansatz untersucht. Bundesweit äußern sich 16,9 % der Teilnehmer als besorgt und weitere 9,5 % attribuieren ihre gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen. Dabei fällt ein Nord-Südgefälle bei den Bundesländern auf. Der Anteil derer, die gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren, ist in Mecklenburg-Vorpommern mit 6,2 % am geringsten und in Bayern mit 13,0 % am höchsten. Diese regionalen Unterschiede bleiben auch nach der Adjustierung für alle relevanten Einflussfaktoren, wie z. B. Haushaltsgröße, bestehen. Bei Berücksichtigung von Alter, Schulbildung und Wohnsituation im multiplen Modell zeigt sich, dass vor allem Personen im Alter zwischen 30 und 50 Jahren, solche mit höherer Schulausbildung (Fach-/Hochschulreife) und diejenigen, die angaben, in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage zu wohnen, häufiger besorgt waren bzw. sich durch Mobilfunksendeanlagen beeinträchtigt fühlten.

Die für das Bundesamt für Strahlenschutz seit 2003 jährlich vom INFAS Institut durchgeführten telefonischen Umfragen an 2.500 Personen ab 14 Jahre zur „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ zeigen ähnliche Prävalenzen bei den Bedenken. In diesen Befragungen wurde nicht speziell nach den Feldern von Mobilfunksendeanlagen gefragt, sondern nach

den Feldern von Sendeanlagen, Handys und schnurlosen Festnetztelefonen. Darüber hinaus werden in der INFAS-Befragung unter den besorgten Personen ebenfalls die Personen, die ihre gesundheitliche Beeinträchtigung auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren, subsumiert. Daher ist ein Vergleich der Prozentzahlen mit den hier dargestellten Ergebnissen nur bedingt möglich. Als besorgt wegen dieser Felder bezeichnen sich 31 % (2003) bzw. 27 % (2006) der Befragten. Sechs Prozent (2003) bzw. neun Prozent (2006) attribuieren ihre gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf die Felder des Mobilfunks. In der hier vorliegenden Basiserhebung aus dem Jahr 2004 haben immerhin 9,5 % der Personen angegeben, ihre gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen zu attribuieren. Als Besorgt (inclusive der Attribution) bezeichneten sich immerhin 26,4 %. Als Elektrosensible werden Menschen bezeichnet, die ihre körperlichen Beschwerden auf elektromagnetische Felder zurückführen (vgl. Ulmer & Bruse 2006). Die in dieser Studie gefundenen 9,5 % Teilnehmer, die ihre gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren, können jedoch nicht als elektrosensible Personen bezeichnet werden, weil diese Eigenschaft mit nur einer einzigen Frage nicht hinreichend erfasst werden kann.

Diese bundesweite repräsentative Erhebung ermöglicht erstmals eine Beschreibung der Lage von Mobilfunksendeanlagen mit Bezug auf die Bevölkerung. Daher wurde der Blickwinkel nicht nur auf die geographische Lage der jeweiligen Sendeanlage gelegt, sondern darüber hinaus auch auf die Frage nach den sich in der Nähe befindenden Wohnungen. Parallel zu den Auswertungen wurde die geographische Verteilung der Sendeanlagen untersucht.

Zusätzlich wurde untersucht, welche Einflussfaktoren auf die allgemeine gesundheitliche Befindlichkeit wirken. Diese wurde durch einen Fragenkatalog von Frick erhoben (Frick et al. 2002). Dabei wurden die gleichen Einflussfaktoren untersucht, wie für die Zielgröße Sorgen und Attribution der Beeinträchtigung auf Mobilfunksendeanlagen. Den größten Einfluss auf den Beschwerdenscore haben das Geschlecht und die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen: Frauen weisen häufiger als Männer eine allgemeine Befindlichkeitsstörung auf. Personen, die ihre gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren, haben einen höheren Wert im Beschwerdenscore als Personen ohne Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen. Weiterhin konnte eine geringfügige Erniedrigung des Beschwerdenscores mit steigendem Haushaltseinkommen festgestellt werden. Die Frage nach dem Vorhandensein einer Mobilfunksendeanlage ist mit dem Beschwerdenscore assoziiert. So haben Personen, die die Frage mit „ja“ beantworten, einen höheren Wert als Befragte, die hierauf „nein“ sagen.

Allerdings sollte in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass wir die Frage: „Gibt es eine Assoziation zwischen den hochfrequenten elektromagnetischen Felder der Mobilfunksendeanlagen und den berichteten Beschwerden“ mit diesem Vorgehen nicht beantworten können, da Informationen zur Exposition der Bevölkerung ausschließlich mit dem vom Ecolog-Institut entwickelten Programm zur Expositionsschätzung modelliert wurde. Das Expositionsmaß ist bisher noch nicht mit externen Daten validiert worden. Darüber hinaus war es auch nicht Ziel der Basiserhebung, die Assoziation zwischen der HF-EMF Exposition und den Beschwerden zu bestimmen, da die Basiserhebung der Deskription von Befindlichkeitsstörungen und Bedenken diene.

Darüber hinaus wurden zwei Einzelbeschwerden, der Kopfschmerz und die Schlafstörung, deren Bedeutung in der Diskussion um Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunk immer wieder genannt wird, detailliert untersucht. Insgesamt wurde von 26,0 % der Studienteilnehmer angegeben, mäßig bis stark unter Kopfschmerzen zu leiden. In einer kürzlich veröffentlichten Querschnittsstudie in Mecklenburg-Vorpommern wurde bei Befragungen an n=4.255 Personen nach häufigen Kopfschmerzen lediglich eine Prävalenz von 9 % angegeben (Bernhardt et al. 2005). Die Unterschiede zwischen diesen Angaben und unseren Ergebnissen liegen möglicherweise in der Art der Befragung. In der Studie von Bernhardt et al. wurde gefragt, ob man häufig unter starken Kopfschmerzen leide. Dagegen wurde in der vorliegenden Erhebung spezifischer gefragt, ob die Probanden in den letzten 30 Tagen unter Kopfschmerzen gelitten haben, nicht dagegen, ob Kopfschmerzen schon früher aufgetreten sind. Relevante Einflussfaktoren für das Vorhandensein von mäßigen bis starken Kopfschmerzen waren in der Basiserhebung der QUEBEB-Studie vor allem das Alter, das Ge-

schlecht sowie das Einkommen, die Haushaltsgröße, die Nähe zur Mobilfunksendeanlage sowie die Besorgtheit wegen gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Mobilfunksendeanlagen.

Bei den Schlafstörungen wurde eine Prävalenz von 17,2 % errechnet. Eine internationale Studie mit $n=25.580$ repräsentativ selektierten und telefonisch befragten Probanden in sieben europäischen Ländern fand demgegenüber für den nicht erholsamen Schlaf eine Prävalenz von 10,8 %. Für Deutschland lag die Prävalenz der Schlafstörungen mit 15,5 % jedoch deutlich höher als in den meisten der anderen untersuchten Länder (Ohayon 2005). Dieser Wert entspricht ungefähr den Prävalenzangaben aus der vorliegenden Querschnittserhebung. Bei der Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Schlafstörungen ergab sich beim Alter ein Trend und für das Einkommen eine inverse Beziehung. Weitere relevante Einflussfaktoren waren die Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen und die Nähe zu einer Mobilfunksendeanlage.

Da die Unterschiede, bezogen auf die Bevölkerungsdichte in den einzelnen Kreisen, gering waren, erwarteten wir bei dem Anteil der Personen, die im 500 m Umkreis einer Mobilfunkbasisstation wohnen, lediglich geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Regierungsbezirken. Es zeigten sich jedoch große Schwankungen. So leben im Regierungsbezirk Lüneburg lediglich 24,7 % aller Personen in den von uns befragten Altersgruppen im 500 m Umkreis einer Mobilfunksendeanlage, während es im Regierungsbezirk Berlin 90,5 % sind. Diese deutlichen regionalen Unterschiede lassen sich in erster Linie durch die Ortsgrößenklassen erklären. Mit steigender Einwohnerzahl nimmt der Prozentsatz an Haushalten, die im 500 m Umkreis einer Mobilfunksendeanlage liegen, stetig zu. Ferner reduziert sich mit steigender Haushaltsgröße stetig der Anteil der Wohnungen, die im 500 m Umkreis einer Mobilfunksendeanlage liegen. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen liegt darin, dass größere Familien/Hausgemeinschaften eher auf dem Land zu finden sind, wo der Wohnraum billiger ist. Dass im multiplen Modell mit gleichzeitiger Berücksichtigung der Ortsgrößenklasse dieser klare bivariate Trend leicht abgeschwächt erscheint, kann als eine Bestätigung dieser Annahme angesehen werden.

Als ein limitierender Faktor dieser Basiserhebung stellte sich die Ungenauigkeit der zur Verfügung stehenden Geokoordinaten heraus. Es war zu Beginn der Studie nicht abzusehen, wie die Ungenauigkeit der Geokodierung zu bewerten ist und wie viele Unklarheiten selbst bei den entsprechenden Instituten vorliegen (Schulz 2005). Zwar sind die Geokoordinaten sowohl der Bundesnetzagentur als auch der Post im Nachhinein insgesamt als zufrieden stellend zu bewerten, sie waren jedoch für die Fragestellung der vorliegenden Studie teilweise zu ungenau. Es gab jedoch in einem großen Umfang Zugang zu den genauen Hauskoordinaten des LVerMA NRW, die genutzt werden konnten. Aus den Ungenauigkeiten der Geokodierung ergeben sich Fragen zur Expositionsabschätzung von hochfrequenten elektromagnetischen Felder von Mobilfunksendeanlagen. Es ist bisher nicht abschätzbar, in welchem Ausmaß Ungenauigkeiten in der Geokodierung die Berechnung der Exposition mittels Expositionsmaß beeinträchtigt haben. Es kommt hinzu, dass die Ergebnisse der QUE-BEB-Pilotstudie aufzeigten, dass die Sichtbarkeit von Mobilfunksendeanlagen sehr schwer mit einem Fragebogen abgefragt werden kann. Bei der Frage an die Studienteilnehmer, ob sie in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage wohnen, konnten 28,2 % der Befragten dazu keine Aussage machen, 29,9 % schätzten es falsch ein und lediglich 41,9 % konnten es richtig beurteilen, wenn die Nähe zu einer Mobilfunksendeanlage als ein Abstand von max. 500 m definiert wird.

Ein Selektionsbias kann bei einer Beteiligungsrate von 58,4% nicht ausgeschlossen werden. In einer zusätzlichen Sensitivitätsanalyse wurde der Anteil der Personen mit Bedenken wegen Sendeanlagen für die drei Gruppen „Früh-Responder“, „mittlere Responder“ und „Spät-Responder“ wiedergegeben. Der Anteil variiert zwischen 24,7 % unter den Früh-Respondern und 31,9% bei den Spät-Respondern. Nimmt man nun gemäß dem Modell des verzögerten Antwortverhaltens an, dass sich die Non-Responder wie die Spät-Responder verhalten, dann kann man für die Gesamtstichprobe eine "Korrekturschätzung" vornehmen. Geht man von der beobachteten Prävalenz von Personen mit Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen in der Nettostichprobe aus, ergibt sich ein Anteilswert von 28,5%. Verwendet man den Korrekturfaktor aus der Non-Responder-Analyse, dann ergibt sich ein etwas höherer Wert von 29,6%. Durch die Non-Response wird demnach in der auswertbaren

Stichprobe das Ausmaß der Besorgnis wegen der möglichen gesundheitlichen Effekte von Mobilfunksendeanlagen leicht unterschätzt. Dabei ist zu beachten, dass die Frage nach der Besorgnis erst am Ende des QUEBEB-Fragebogenteils zu finden war und somit vermutlich kein direkter Einfluss auf das Antwortverhalten zu erwarten war und die Stichprobe der Basiserhebung für die Variablen Altersklasse, Geschlecht und Bundesland eine gute Annäherung an die Verhältnisse in der bundesdeutschen Bevölkerung zeigt.

Die Beschwerden wurden im Rahmen dieser Basiserhebung nur sehr allgemein abgefragt, d.h. es wurde für jede Beschwerde im Rahmen einer Beschwerdeliste eine Frage mit vier Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Deshalb wurden einzelne Beschwerden wie z. B. Kopfschmerzen oder Schlafstörungen in der Vertiefungserhebung mit entsprechenden Instrumenten wesentlich detaillierter erfasst.

Als Stärke dieser Basiserhebung soll zunächst die Geokodierung hervorgehoben werden. Obwohl sich die fehlende Genauigkeit der Geokodierung als ein Problem für die Anwendung des Expositionsmaßes herausstellte, sind die räumliche Beschreibung des Datensatzes der Bundesnetzagentur sowie die Verknüpfung der beiden Datenbanken über die Geokodierung einzigartig. Die überarbeitete Geokodierung ermöglicht einen Vergleich der durch die Probanden geschätzten Nähe der nächsten Mobilfunksendeanlage mit objektiven Daten zu der Lage der Mobilfunksendeanlagen. Dieses Vorgehen ermöglicht einen objektivierbaren Ansatz, der beispielsweise in der französischen Befragung zu Befindlichkeitsstörungen (Santini et al. 2002) nicht gegeben war.

Darüber hinaus ergeben sich aus der Basiserhebung mit Daten des Health Access Panels weitere Vorteile: Aufgrund der Stichprobengröße sind die Ergebnisse auch in kleinen Untergruppen als relativ stabil zu erachten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Angaben zu den Befindlichkeitsstörungen der Probanden nicht durch die vorherige Einstellung gegenüber Mobilfunksendeanlagen beeinflusst wurden, sondern vor allem durch Alter, Geschlecht, Schulbildung und Einkommensgruppe. In der Befragung umfasste der Aspekt „Mobilfunksendemasten“ lediglich einen kleinen Teilbereich der umfangreichen Befragung und zudem wurde die Einstellung zu den Mobilfunksendemasten erst nach den Fragen zur allgemeinen Befindlichkeit erfragt. Dieser Aspekt im Fragebogendesign sollte besonders hervorgehoben werden, da er bisher in keiner der bekannten Querschnittsstudien zu Befindlichkeitsstörungen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen berücksichtigt wurde (Santini et al. 2002, Hutter et al. 2002, 2006, Navarro et al. 2003, Abdel-Rassoul et al. 2006).

Mit dieser Querschnittstudie liegen erstmals modellierte bevölkerungsbezogene Daten zur Exposition der hochfrequenten elektromagnetischen Felder von Mobilfunksendeanlagen sowie Befragungsdaten zur geschätzten Nähe von Mobilfunksendeanlagen, zu Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und zu Befindlichkeitsstörungen vor.

5 Bericht zu Phase III – Vertiefungserhebung und Ergänzungsstudie

5.1 Zielstellung

Ab Dezember 2005 konnte dann Phase III, die Vertiefungserhebung und die Ergänzungsstudie, erfolgen. Das Studiendesign in Phase III zeichnet sich durch drei Merkmale aus.

Dabei handelt es sich im Gegensatz zu der Untersuchung in Phase II (Basiserhebung) um eine analytische Herangehensweise. Auf der Basis der Ergebnisse von Phase III und der Ergänzungsstudie kann eine Aussage zur Gesamtsituation der teilnehmenden Haushalte hinsichtlich einer Exposition durch die HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen erfolgen.

Drei unterschiedliche Fragestellungen sollen im Rahmen der Vertiefungserhebung und Ergänzungsstudie der Querschnittstudie „QUEBEB“ beantwortet werden:

- Gibt es eine Assoziation zwischen den gemessenen HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen und den berichteten gesundheitlichen Beschwerden?
- Gibt es eine Assoziation zwischen den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und berichteten Beschwerden?
- Gibt es eine Interaktion zwischen der gemessenen Exposition und den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen auf den Zusammenhang zu den berichteten Beschwerden?

5.2 Design

Das Studiendesign der Vertiefungs- und Ergänzungserhebung (Phase III) zeichnet sich durch drei Merkmale aus. Diese sind:

- a) die regionale Eingrenzung von Phase III auf wenige in der Basiserhebung (Phase II) ausgesuchte Studienregionen,
- b) eine vertiefende schriftliche Befragung zu subjektiven Beschwerden und zur subjektiven gesundheitlichen Lebensqualität (Vertiefungserhebung), und
- c) die sich durch Anwendung von inzwischen verfügbaren Dosimetern ergebende Möglichkeit, ergänzende Expositionsbestimmungen - nach einer Eingrenzung auf wenige Regionen - in den teilnehmenden Haushalten durchzuführen (Ergänzungserhebung).

Zur Verdichtung der Erhebungssituation und aus Gründen der Machbarkeit der Vertiefungs- und Ergänzungserhebung wurde die Erhebung auf einige ausgewählte Studienregionen in Deutschland konzentriert. Hierzu wurden solche Regionen einbezogen, die einen besonders hohen Städteanteil aufweisen, da in städtischen Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte die Exposition gegenüber den gemessenen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunksendeanlagen nach dem Expositionsmaß wesentlich höher ist als auf dem Land. Eine Auswahl von Regionen mit höherer Exposition war erforderlich, da die modellierten Feldstärken insgesamt sehr klein waren und zu befürchten stand, dass anderenfalls die Zahl exponierter Haushalte zu gering sein würde und zudem für die überwiegende Zahl der verbleibenden exponierten Haushalte keine Exposition gemessen werden könne, da die Werte unter der Sensitivitätsgrenze des Dosimeters liegen.

Im Rahmen der **Vertiefungserhebung** war eine schriftliche Querschnittbefragung, insbesondere zu gesundheitlichen Beschwerdebildern, bei 3.200 Studienteilnehmern (netto) vorgesehen, die auf den Ergebnissen der Basiserhebung aufbaut. Es wurden 4.150 Personen aus den ausgewählten Regionen angeschrieben. Das Design der Vertiefungserhebung ermöglichte eine Erfassung des Gesundheitszustands der Probanden mittels eines selbst auszufüllenden Fragebogens, wobei neben den selbst berichteten Beschwerden durch den Einsatz valider und reliabler Fragebogeninstrumente zu allge-

meinen Befindlichkeitsstörungen auch die Bedenken gegenüber Mobilfunksendeanlagen erhoben wurden. Insgesamt haben 3.526 Probanden (Antwortrate: 85,0%) den Vertiefungsfragebogen ausgefüllt. Von diesen Probanden gaben 1.808 die Einwilligung, an der Ergänzungserhebung teilzunehmen.

Im Studiendesign der **Ergänzungserhebung** wurde berücksichtigt, dass zwischenzeitlich ein Dosimeter zur Messung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von der französischen Firma „Antennessa“ entwickelt worden war (Gerätename: „EME spy 120“). Dadurch war es nun möglich, die Vertiefungserhebung um eine messtechnische Erfassung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder zu erweitern. Insgesamt erfolgten bei 1.500 Personen Besuche vor Ort zur Durchführung eines CAPI (computer assisted personal interview) und zu Dosimetermessungen (Antwortrate: 83,8%). Zur Überwachung der Dosimeterfunktion wurde vom IMST eine eigene Qualitätssicherung vor Beginn und während der Feldarbeit durchgeführt. Diese Vergleichsmessung erlaubte die Aussage, ob sich die Gerätefunktionalität während der Feldarbeit verändert hat. Neunzehn der insgesamt 20 eingesetzten Dosimeter haben während der gesamten Einsatzzeit stabil und reproduzierbar gemessen. Ein Gerät wurde als defekt erkannt und von Antennessa repariert. Der Defekt äußerte sich nicht in einem Totalausfall des Gerätes, sondern in falschen Werten und wäre bei einer einfachen Funktionsüberprüfung vermutlich nicht erkannt worden. Durch die kontinuierliche Qualitätsüberprüfung der Dosimeter konnte das Vertrauen in die bei der Feldarbeit aufgenommenen Messwerte wesentlich gestärkt werden.

Folgende Personen mussten vor der Analyse aus dem Datensatz ausgeschlossen werden: Bei 82 Personen lagen Messungen mit einem defekten Dosimeter vor und bei 28 Personen ergaben sich Probleme bei der eindeutigen Zuordnung von Mess- und Befragungsdaten. Darüber hinaus wurden weitere Personen, für die in einzelnen Ziel- oder Störvariablen fehlende auftraten ausgeschlossen. Auf diese Weise wurden sämtliche Analysen mit einem identischen Datensatz durchgeführt (N=1.326).

Die **statistische Auswertung** der Einzelzielsetzung erfolgte über multiple lineare Regressionen. Als Zielvariablen wurden folgende selbst berichteten Beschwerden und Einschätzungen des Gesundheitszustands herangezogen:

- Kopfschmerzen nach dem Headache Impact Test (HIT-6),
- Schlafprobleme nach dem Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI),
- Gesundheitliche Beschwerden nach der Beschwerdenliste von v. Zerssen,
- selbst berichtete gesundheitsbezogene Lebensqualität (körperliche Gesundheit und psychische Gesundheit nach dem SF-36).

Als Einflussgröße wurden einerseits die von den Mobilfunksendeanlagen emittierten hochfrequenten elektromagnetischen Felder betrachtet. Für jeden Probanden wurden für 12 Frequenzbereiche jeweils maximal 75 Messwerte auf 4 Messpositionen erhoben. In der Auswertung wurden die drei Frequenzbereiche elektromagnetischer Felder zusammengefasst, die von Mobilfunksendeanlagen emittiert werden: GSM900 (downlink), GSM1800 (downlink) und UMTS (downlink).

Als weitere Einflussgröße galten die Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen. Dabei wurde von einer „Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen“ gesprochen, wenn eine Person angab, durch die von Mobilfunksendeanlagen emittierten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern gesundheitlich beeinträchtigt zu werden – unabhängig davon, ob sie auch besorgt war oder nicht. Weiterhin wurde eine Person als besorgt definiert, wenn sie sich wegen der von Mobilfunksendeanlagen emittierten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern Sorgen machte, aber die gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auf die hochfrequenten elektromagnetischen Felder der Sendeanlagen attribuierte.

Als Störvariablen wurden das Geschlecht, das Alter, die Wohnumgebung, die Schulbildung, chronischer Stress, Ängstlichkeit, Depressivität und Mobiltelefonnutzung in den multiplen linearen Regressionsmodellen berücksichtigt.

5.3 Material und Methoden

5.3.1 Feldbericht

Seit Juli 2003 wurde eine Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunksendeanlagen entwickelt und durchgeführt. Nach Abschluss der Pilotphase sowie der Basiserhebung war das Ziel der Vertiefungserhebung, Assoziationen zwischen den Feldern von Mobilfunkbasisstationen und gesundheitlichen Beschwerden zu untersuchen. Hierfür erfolgte eine regionale Eingrenzung auf ausgewählte Studienregionen, in denen eine vertiefende schriftliche Befragung zu Beschwerden durchgeführt wurde.

An die schriftlichen Befragungen der Vertiefungserhebung schloss sich eine Ergänzungsstudie mit dem Ziel an, hochfrequente elektromagnetische Felder in Haushalten ausgewählter Studienregionen messtechnisch zu bestimmen. Die Interviewer dokumentierten dabei die konkrete Wohnsituation, fragten die Zielpersonen nach Kopfschmerzen und Schlafstörungen in der vorherigen Nacht und führten die Messungen mittels Dosimeter und Kompass durch.

5.3.1.1 Vertiefungserhebung

Grundgesamtheit und Stichprobe

Die Vertiefungserhebung wurde auf acht Studienregionen regional eingegrenzt (Tabelle 5.1). Alle Personen die bereits in der Basiserhebung befragt wurden und in den ausgewählten Studienregionen wohnen, bildeten die Bruttostichprobe für diese Befragung.

Tabelle 5.1: Studienregionen der Vertiefungserhebung

Studienregion	Kreisfreie Stadt	Ländliche Kreise
Berlin	Berlin	
Ruhrgebiet West	Düsseldorf	
	Duisburg	
	Essen	Wesel
	Oberhausen	
	Mülheim	
	Wuppertal	
Hamburg	Hamburg	
Köln/Bonn	Köln Bonn	
München Stadt und Kreis	München	Landkreis München
Dresden und Umgebung	Dresden	Sächsische Schweiz
		Meißen
		Weißeritzkreis
Hannover	Hannover, Stadt	Region Hannover
Stuttgart	Stuttgart	Kreis Ludwigsburg

Die Vertiefungsbefragung wurde wie schon die Basisbefragung im TNS Infratest Access Panel durchgeführt. Das Access Panel ist eine bundesweite Stichprobe befragungsbereiter Personen in über 50.000 Haushalten, die für die deutsche Wohnbevölkerung annähernd repräsentativ ist. Die

methodische Qualität des Access Panels für bevölkerungsepidemiologische Erhebungen ist in Potthoff et al. (2004) und in Mueller und Bormann (2004) dargestellt.

Die Vertiefungserhebung im Access Panel fand im Februar 2006 statt und richtete sich an 4.150 Personen, die bereits an der Basisbefragung teilgenommen hatten. Im Anschreiben des Fragebogens wurde deshalb darum gebeten, dass nur die persönlich angesprochene Person diesen Fragebogen ausfüllt.

Die Befragung wurde mit einem schriftlich auszufüllenden Fragebogen durchgeführt.

Beteiligungsrate und Stichprobenstruktur

Von den angeschriebenen 4.150 Personen beteiligten sich 3.554 an der Befragung. Nach Prüfung mussten 28 Fragebögen ausgeschlossen werden, da sie nur unvollständig ausgefüllt waren. Somit gelangten 3.526 Fragebögen in die Auswertung. Dies entspricht einer Beteiligungsrate von 85% (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2: Beteiligungsrate in der Vertiefungserhebung

	Abs.	in %
Bruttostichprobe	4.150	100,0
Responder	3.526	85,0
Non-Responder	624	15,0

Die Stichprobe der Vertiefungserhebung ist aufgrund der regionalen Eingrenzung **keine** repräsentative bundesdeutsche Stichprobe. Es handelt sich um eine systematisch angelegte Stichprobe aus vorwiegend großstädtischen Gebieten, da hier die Dichte der Basisstationen hinreichend ist, um auch messtechnisch nachweisbar exponierte Personen zu finden. Allerdings stellt die Stichprobe der Vertiefungserhebung nach Alter und Geschlecht eine recht gute Annäherung an die Verhältnisse in der bundesdeutschen Bevölkerung laut Fortschreibung des Bevölkerungsstandes des Statistischen Bundesamts (Stand 31.12.2004) dar (Tabelle 5.3).

Tabelle 5.3: Stichprobenstruktur der Vertiefungserhebung nach Alter und Geschlecht im Vergleich mit der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes

	Fortschreibung des Bevölkerungsstandes Stand 31.12.2004 (in %)	QUEBEB- Vertiefungs- befragung (in %)
Bevölkerung nach Altersgruppen		
14 bis 19 Jahre	8,0	4,8
20 bis 29 Jahre	13,5	11,1
30 bis 39 Jahre	17,1	20,9
40 bis 49 Jahre	18,6	16,9
50 bis 59 Jahre	14,1	19,8
60 Jahre und älter	28,7	26,4
Bevölkerung nach Geschlecht		
Männer	48,9	44,9
Frauen	51,1	55,1

Fragebogen

Die vertiefende Befragung wurde mit einem schriftlichen Fragebogen durchgeführt.

Der Fragebogen enthielt folgende Fragenkomplexe:

- Ein Fragebogen zum allgemeinen Gesundheitszustand, der SF-36.
Ein Instrument, welches in vielen auch internationalen klinischen und epidemiologischen Studien eingesetzt wird und die gesundheitliche Lebensqualität in 8 Dimensionen körperlicher und seelischer Gesundheit erfasst.
- Eine 24 Beschwerden umfassende Beschwerdenliste, die von von Zerssen entwickelt wurde und sowohl körperliche Störungen als auch das Allgemeinbefinden misst.
- Pittsburgh Schlafqualitäts-Index (PSQI)
Dieser Fragebogen umfasst sieben Komponenten, u a. zur Schlafqualität, zur Schlafdauer, zu Schlafstörungen und zum Schlafmittelkonsum.
- Der Fragebogen zur Messung der Auswirkungen von Kopfschmerzen (HIT)
Der Fragebogen misst die Schwere der Kopfschmerzen und die dadurch bedingten Einschränkungen, dient aber nicht der Bestimmung der Ursachen.
- Eine Liste mit 18 Krankheiten, die in einer erweiterten Form mit 44 Items vom Robert-Koch-Institut im Bundes-Gesundheitssurvey 1998 eingesetzt wurde, enthält nur Krankheiten, die in der Literatur mit elektromagnetischen Feldern in Zusammenhang gebracht werden.
- Indikatoren des Reha-Status
Ein Standardinstrument der Reha-Forschung, welches in Kurzform die Dimensionen psychisches Befinden, Funktionsfähigkeit im Alltag, somatische Gesundheit und Schmerzen erfasst.
- Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)
Dieser Fragenkomplex wird im klinischen und auch im wissenschaftlichen Bereich bei Erwachsenen mit körperlichen Beschwerden oder Erkrankungen zur Selbstbeurteilung von Angst und Depressivität eingesetzt.
- Kurzform des Trierer Inventars zum chronischen Stress (TICS)
Diese Instrument enthält 12 Items, die als Globalmaß für erlebten Stress dienen.
- Fragen zur möglichen Exposition durch sonstige Hochfrequenz durch Nutzung von Mobilfunktelefonen, schnurlosen Telefonen sowie kabellosen Computernetzwerken.
- Fragen zur Risikowahrnehmung; hierfür werden verschiedene Faktoren abgefragt, die aufgrund möglicher Einflüsse auf die persönliche Gesundheit zur Besorgnis führen können.
- Fragen zur Wohnumgebung, Aufenthaltsorte und –dauer sowie Sichtbarkeit von Mobilfunkbasisstationen.
- Zwei Fragen
 - a. zur Besorgnis über die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder, die von Mobilfunkbasisstationen ausgehen, und
 - b. zu einer wahrgenommenen gesundheitlichen Beeinträchtigung durch diese Exposition.Diese Fragen wurden an das Ende des QUEBEB-Fragebogens gestellt, um mögliche Sensibilisierungseffekte für die Beschwerdenliste auszuschließen.
- Angaben zur soziodemographischen Situation der Befragten.
- Teilnahmebereitschaft für Folgestudie (Ergänzungsstudie).

Prüfung und Aufbereitung der Daten

Die Fragebögen der Vertiefungserhebung wurden gescannt und durchliefen anschließend ein Prüfprogramm. Fragebögen, welche zu unvollständig ausgefüllt wurden und deshalb nicht auswertbar waren, wurden aus der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen. Nicht plausible Werte, z.B. Überschreitungen zulässiger Werte oder mehrfaches Ankreuzen in einer Frage wurden nach einem standardisierten Algorithmus korrigiert oder speziell codiert.

Die Daten wurden in einen SPSS-Systemfile eingelesen. Eine tabellarische Grundausswertung des Fragebogens nach Geschlecht und Alter sowie nach den Ortsgrößenklassen befindet sich im Anhang.

5.3.1.2 Ergänzungserhebung

Stichprobe

Die Bruttostichprobe der Ergänzungserhebung bildeten alle Personen, die in der vorangegangenen Vertiefungserhebung einer Messung in ihrer Wohnung/in ihrem Haus und der Adressweitergabe zugestimmt hatten. Insgesamt standen 1817 Adressen zur Verfügung, die sich folgendermaßen auf die acht Studienregionen verteilten (Tabelle 5.4):

Tabelle 5.4: Studienregionen der Ergänzungserhebung

Studienregion	Anzahl der Adressen	Anzahl der Interviewer
Berlin	607 Adressen	6 Interviewer
Ruhrgebiet West	307 Adressen	3 Interviewer
Hamburg	210 Adressen	2 Interviewer
Köln/Bonn	228 Adressen	2 Interviewer
München Stadt und Kreis	136 Adressen	1 Interviewer
Dresden und Umgebung	62 Adressen	1 Interviewer
Hannover	112 Adressen	1 Interviewer
Stuttgart	155 Adressen	2 Interviewer
Gesamt	1817 Adressen	18 Interviewer

9 der 1817 Adressen lagen nicht im Einzugsbereich der acht Studienregionen und wurden daher ausgeschlossen. Die Ergänzungserhebung wurde vom 23. März bis 23. August 2006 durchgeführt.

Aus den insgesamt 1.808 zur Verfügung stehenden Adressen konnten 1.500 Interviews realisiert werden. Dies entspricht einer Beteiligungsrate von 83,8%. Die Ausfallgründe sind in der Tabelle 5.5 dargestellt.

Tabelle 5.5: Rücklaufquote der Ergänzungserhebung

Verfügbare Adressen	1.808	100,0%
Eingesetzte Adressen	1.808	100,0%
Adresse nicht auffindbar		0,4%
ZP* verstorben		0,1%
ZP wohnt nicht (mehr) unter angegebener Adresse		0,6%
Neutrale Ausfälle gesamt	18	1,0%
Verbleibende Adressen	1.790	100,0%
Haushalt nicht angetroffen		2,8%
Sonstiges		4,6%
ZP nicht angetroffen		0,9%
ZP hat keine Zeit		2,1%
ZP nicht bereit; sonstiger Grund		5,0%
ZP Urlaub, verreist		0,4%
ZP krank		0,3%
Ausfälle insgesamt	290	16,2%
Durchgeführte Interviews und Kontakte	1.500	83,8%
* ZP = Zielperson		

Tabelle 5.6: Stichprobenstruktur der Ergänzungserhebung nach Alter und Geschlecht im Vergleich mit der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes

	Fortschreibung des Bevölkerungsstandes Stand 31.12.2004 (in %)	QUEBEB- Ergänzungs- erhebung (in %)
Bevölkerung nach Altersgruppen		
14 bis 19 Jahre	8,0	2,4
20 bis 29 Jahre	13,5	8,7
30 bis 39 Jahre	17,1	21,3
40 bis 49 Jahre	18,6	18,5
50 bis 59 Jahre	14,1	18,4
60 Jahre und älter	28,7	30,7
Bevölkerung nach Geschlecht		
Männer	48,9	49,3
Frauen	51,1	50,7

Durchführung der Ergänzungserhebung

Interviewerschulung

Die Interviewer wurden vor Feldbeginn über das Ziel und den Ablauf der Studie durch die Feldleitung in zwei zentralen Schulungen informiert und in die Bedienung von Kompass und Dosimeter eingewiesen. Neben diesen beiden Messgerätschaften erhielten die Interviewer jeweils zwei Messschablonen, die eine Standardisierung der Dosimeterpositionen auf dem Bett der Zielpersonen gewährleisten. Die Universität Bielefeld bat die Teilnehmer in einem Anschreiben um Mitarbeit und informierte über das Studienziel, die Durchführung, sowie die Unbedenklichkeit der Messungen mit dem Dosimeter.

EMF-Messungen und Face-to-Face-Interviews

Interview sowie Messungen wurden anhand eines Adressprotokolls bei den Personen durchgeführt, die bereits an der Basis- sowie an der Vertiefungserhebung teilgenommen und sich zu einer Messung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder in ihren Wohnräumen bereit erklärt hatten. Diese Personen wurden von den Interviewern telefonisch kontaktiert, um einen Besuchstermin für die Messung zu vereinbaren. Obwohl die Messungen im Schlafzimmer der Zielpersonen stattfinden sollten, kam es zu keinen nachträglichen Verweigerungen. Alle Teilnehmer zeigten sich ausgesprochen kooperationsbereit, was auf ein großes Interesse am Studienthema schließen lässt.

Während des Interviewerbesuchs wurden zunächst Angaben über die Lage des Schlafzimmers und die Sichtbarkeit von Mobilfunksendeanlage erfasst, sowie die Himmelsrichtung der Schlafzimmerfenster mit Hilfe eines Kompasses bestimmt. Diese Angaben waren erforderlich, um mit den Ergebnissen der Ergänzungserhebung ebenfalls das Expositionsmaß des ECOLOG-Institutes anzuwenden. Die sich anschließenden Messungen mit dem Dosimeter wurden auf dem Bett der Zielperson an vier verschiedenen Messpunkten durchgeführt. Zur Vereinheitlichung der Messpositionen erhielten die Interviewer eine Messschablone, auf der die vier Messpositionen aufgezeichnet waren (siehe Anhang), und zwar:

- Erste Messposition in der Mitte des Kopfkissens an der Stelle, an der sich üblicherweise der Kopf des Probanden während des Schlafens befindet.
- Zweite Messposition 10 cm rechts von Mitte
- Dritte Messposition 10 cm links von Mitte
- Vierte Messposition 50 cm senkrecht unter Messposition 1 in der Mitte

Jede Messung dauerte fünf Minuten. Während der jeweiligen Messung durfte sich niemand im Schlafzimmer aufhalten. Das Handy des Interviewers musste ausgeschaltet sein, um mögliche Störfaktoren bei der Messung auszuschalten. Weiterhin sollten die Schlafzimmerfenster geschlossen und Rolladen/Jalousien geöffnet sein. Damit sollte ein einheitliches Vorgehen sichergestellt werden. Die Fenster sollten geschlossen sein, da gekippte oder geschlossene Fenster hinsichtlich der Exposition keinen Unterschied darstellen, da ein großer Teil der HF-EMF reflektiert/absorbiert wird. Darüber hinaus sind wir davon ausgegangen, dass es kaum Personen gibt, die ganzjährig bei weit geöffnetem Fenster schlafen. Die Jalousien sollten geöffnet sein, da eine Modellierung der verschiedenen Materialien und Materialstärken von Innen- und Außenjalousien mit ihrem unterschiedlichen Verhalten bei der Reflektion/Absorption von HF-EMF nicht möglich ist.

Nach Abschluss der Messungen wurde die Zielperson gebeten, noch zwei weitere Fragen zu Kopfschmerzen am Tag der Messung und zu Schlafstörungen der vergangenen Nacht zu beantworten. Falls die Zielperson zu diesem Zeitpunkt nicht anwesend war, wurde dieser Kurzfragebogen hinterlassen und die entsprechenden Angaben später telefonisch nacherhoben.

Dosimeter und Probleme bei den Messungen

Insgesamt standen für die Messung der elektromagnetischen Felder 20 Dosimeter der Firma Antennessa zur Verfügung. Um eine einwandfreie Funktionsfähigkeit der Geräte während der gesamten Feldzeit zu sichern, wurden diese zu Beginn, nach der Hälfte sowie am Ende der Feldzeit vom Institut für Mobilfunk und Satellitentechnik (IMST) überprüft. Des Weiteren wurden die aus dem Dosimeter ausgelesenen Messwerte kontinuierlich zur Überprüfung an die Universität Bielefeld gesendet.

Um die Messungen möglichst sicher und im Ablauf korrekt durchführen zu können, wurde die Software des Dosimeters in das CAPI-Programm eingebunden. Hierfür wurde von Antennessa ein neu programmierter und kostenpflichtiger Systemfile erstellt. Im Laufe der Feldzeit stellten sich Probleme in der Kompatibilität von Dosimeter-Software und CAPI-Programm bei zwei Geräten (Nr. DE_001_0306, DE_002_0306) heraus, die vermutlich darauf zurückzuführen waren, dass beide Geräte einer anderen Baureihe entstammten. Trotz wiederholter Bemühungen (Fehlerbeschreibung, Änderung des CAPI-Programms, Update der Antennessa-Software) konnte dieses Problem nicht gelöst und die beiden Geräte im Feld nicht eingesetzt werden. Das Gerät DE_002_0306 war zu dem Zeitpunkt noch gar nicht im Feld eingesetzt worden. Die mit dem Gerät DE_001_0306 durchgeführten Messungen zeigten, trotz korrekter Durchführung, entweder keinerlei oder nur auf einer Position Werte an. Sie wurden beim Datencleaning ausgeschlossen und zum größten Teil mit einem anderen Gerät wiederholt. Leider konnte das Problem dieser beiden Geräte erst nach Abschluss der Erhebung durch ein hardware downgrade bei Antennessa behoben werden. Ein anderes Gerät (DE_007_5105) konnte nach mehreren erfolgreichen Messungen nicht mehr aktiviert werden. Nach einem Update der Software durch Antennessa konnte es wieder im Feld eingesetzt werden. Ein Dosimeter (DE_008_0306) verlor die gesamte Konfiguration. Bei der zweiten Überprüfung der Dosimeter nach der Hälfte der Feldzeit durch das IMST wurden bei diesem Gerät veränderte Messungen festgestellt. Es wurde anschließend im Feld nicht mehr eingesetzt (vgl. Kapitel 5.3.2). Auch dieses Gerät, das einen hardware-Fehler aufwies, konnte leider erst nach Abschluss der Erhebung von Antennessa repariert werden. Sämtliche Fälle, bei denen die Messungen mit diesem Gerät durchgeführt wurden, wurden ausgeschlossen. Beim Gerät DE_018_0306 kam es beim ersten Interviewer zu Anschlussproblemen. Es konnten keine Messungen durchgeführt werden. Eine Kontrolle durch das IMST ergab, dass das Gerät vollkommen funktionstüchtig war. Beim anschließenden Feldeinsatz traten keine weiteren Probleme auf.

Fragebogen

Die Dokumentation der HF-EMF-Messung wurde mit Hilfe eines CAPI-Programms in der Wohnung des Probanden durchgeführt. Zusätzlich wurde die teilnehmende Person gebeten, einen Kurzfragebogen auszufüllen, um Kopfschmerzen sowie Schlafstörungen zu erfassen.

Der Dokumentationsbogen der HF-EMF-Messung enthielt folgende Fragenkomplexe

- Ortsbestimmung des Schlafzimmers
- Himmelsrichtung der Schlafzimmerfenster sowie Fenstertyp
- Öffnungszustand der Fenster bei Messung der Himmelsrichtung³
- Erfassung der Sichtbarkeit und Art der Sichteinschränkung von Mobilfunksendemasten vom Schlafzimmer aus
- Verschluss der Fenster durch Jalousie/Rolläden oder Fensterläden in der Nacht

³ Die Himmelsrichtung sollte mit einem Kompass bestimmt werden, der parallel zum Fenster/Fensterrahmen gehalten wird. Um eine Abschätzung der Genauigkeit des Messpunktes zu erhalten, wurde daher neben dem Typ des Fensters (z. B. Dachfenster) auch der Öffnungszustand der Fenster abgefragt (bei Dachfenstern ist in der Regel eine Öffnung erforderlich, um die Messung präzise durchführen zu können).

- Fensteröffnung im Verlauf der Jahreszeiten
- Durchführung, Datenspeicherung und Messdauer der EMF-Messungen
- Wetterlage während der EMF-Messung
- Besondere Vorkommnisse während der Messungen
- Wünscht der Proband nach Abschluss der Studie eine Auswertung

Kurzfragebogen

Fragen bezüglich Kopfschmerzen am Tag der Messung und Schlafstörungen in der vorangegangenen Nacht

Prüfung und Aufbereitung der Daten

Die Eingabe nicht plausibler Werte, z.B. Überschreitungen zulässiger Werte oder mehrfaches Ankreuzen in einer Frage wurden automatisch durch das CAPI-Programm in eine Fehlermeldung an den Interviewer umgesetzt mit der Bitte um Korrektur.

Die Daten wurden in einen SPSS-Systemfile eingelesen. Eine tabellarische Grundausswertung des Fragebogens nach Geschlecht und Alter sowie nach den Untersuchungsregionen befindet sich im Anhang.

Switcher

Das Studiendesign sieht vor, dass pro Haushalt jeweils nur das zu Beginn der Erhebung ausgewählte Haushaltsmitglied an der Befragung in Basis-, Vertiefungs- und Ergänzungserhebung teilnimmt. Auf diese Weise können die Daten der einzelnen Erhebungsstufen verknüpft werden und für die jeweilige Einzelperson zu einem Gesamtdatensatz zusammen geführt werden. Um Identität der Antwortenden überprüfen zu können, wurden in jeder Befragungsrunde Geburtsjahr und Geschlecht der befragten Person erfasst.

Personen, bei denen die Angaben zu Geschlecht und/oder Geburtsjahr in den verschiedenen Datenquellen nicht übereinstimmten, wurden als Switcher bezeichnet. Sofern diese Diskrepanzen bei der weiteren Überprüfung nicht geklärt werden konnten, sollten diese Fälle aus dem Datenmaterial eliminiert werden, da anzunehmen ist, dass andere als die ursprünglich ausgewählten Zielpersonen die weiteren Fragebögen beantwortet haben.

Insgesamt unterschieden sich die Angaben zu Geburtsjahr und Geschlecht bei 59 Fällen in den 3 Datenquellen (Panel-Daten, Vertiefungserhebung, Ergänzungserhebung).

Davon gab es bei 25 Fällen Unterschiede zwischen den Daten aus der Vertiefungserhebung und den Paneldaten. In weiteren 34 Fällen gab es Unterschiede zu den CAPI-Daten.

Von den 59 Fällen

- konnte ein Fall geklärt werden, da die Daten im Bemerkungsfeld korrigiert wurden.
- haben in 4 Fällen die Daten der Vertiefungserhebung mit den CAPI-Daten aus der Ergänzungstudie übereingestimmt.
- wurden 10 Fälle ausgeschlossen, in denen sowohl das Geschlecht als auch das Geburtsjahr nicht zusammenpassten.
- wurden 44 Fälle durch das TestPanel-Institut in Wetzlar überprüft, ob sich im Haushalt der Zielperson noch eine weitere Person befindet, auf die die abweichenden Daten zutreffen (das Panel des TPI ist eine Haushaltsstichprobe, das heißt, alle im Haushalt lebenden Personen werden erfasst).

Ergebnis der Überprüfung

- In 9 Fällen lag eine falsche Erfassung der Daten in der Vertiefungserhebung vor, hervorgerufen durch schwer leserlich ausgefüllte Angaben.
- In 7 Fällen lag die Abweichung des Geburtsjahres bei einem Jahr oder es wurde ein anderes Geschlecht angegeben und es gab keine weiteren Personen im Haushalt, auf die diese Angaben passten.
- In 13 Fällen haben Personen geantwortet, die im Panel verzeichnet sind, aber nicht die Zielperson waren.
- Bei 10 Fällen handelt es sich höchst wahrscheinlich um Tippfehler in den CAPI-Daten, da nur eine Zahl falsch ist oder ein Zahlendreher vorliegt und auch keine dazu passenden Personen im Panel vorhanden sind.
- In 5 Fällen gibt es zum Teil größere Unterschiede bei den Angaben zum Geburtsjahr. Tippfehler sind eher unwahrscheinlich und es gibt auch keine weitere Person im Haushalt, auf die diese Angaben zutreffen .

Die Entscheidung, welche Fälle in die Auswertung der verknüpften Daten aus der Vertiefungs- und Ergänzungserhebung einbezogen werden können, wird im Kapitel 5.3.3 dokumentiert.

5.3.2 Qualitätsbericht Dosimeter

5.3.2.1 Zielsetzung

Während der Feldarbeit wurden zur Messung der elektromagnetischen Immission in den Wohnungen Personendosimeter des Typs EME Spy 120 (Firma Antennessa) eingesetzt. Zur Überwachung der Dosimeterfunktion wurde eine eigene Qualitätssicherung erarbeitet. Diese erfolgte in der Art und Weise, dass

- vor Beginn der Feldarbeit von jedem Dosimeter der Ausgangszustand gemessen und im Sinne einer Gerätehistorie dokumentiert wurde und
- während der Feldarbeit sowie nach Abschluss der Feldarbeit das Dosimeter erneut vermessen und mit dem Ausgangszustand verglichen wurde. Blieb die dabei ermittelte Abweichung vom Ausgangszustand innerhalb einer definierten Toleranz, wurde das Gerät als „funktionstüchtig“ bewertet.

Diese Strategie einer Vergleichsmessung ist in der Lage zu erkennen, ob sich die Gerätefunktionalität während der Feldarbeit verändert hat. Es war hierbei nicht das primäre Ziel, die „absolute Genauigkeit“ des Gerätes zu untersuchen. Diese wird durch die Erstkalibrierung des Herstellers vorausgesetzt. Zur darüber hinausgehenden detaillierten Überprüfung wären grundlegende Untersuchungen erforderlich, wie etwa in Mann et al. (2005) durchgeführt; dies war jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Projekts.

5.3.2.2 Messkonzept

Das verwendete Personendosimeter EME Spy 120 ist ein in 12 unterschiedlichen Frequenzbändern selektiv messendes Gerät. In Tabelle 5.7 sind die Frequenzbereiche aufgeführt, die durch das Gerät abgedeckt werden (der Name kennzeichnet die vom Hersteller angegebene Bandbezeichnung). Die Mobilfunk-Downlinkbereiche (Richtung Basisstation - Handy) sind rot dargestellt; sie werden für vorliegende Studie als besonders wichtig erachtet und deswegen genauer überprüft.

Tabelle 5.7: Frequenzbereiche des Personendosimeters EME Spy 120

Name	Frequenzbereich [MHz]	Nutzung in Deutschland	Testfrequenz [MHz]	Bezeichnung in Studie
FM	88-108	UKW-Rundfunk	98	FM
TV3	174-223	Analog-TV, DVB-T	199	TV3
TETRA	380-400	militärisch, geplant für TETRA	390	TETRA
TV4&5	470-830	Analog-TV, DVB-T (bis 862 MHz)	650	TV4&5
E-GSM Tx	880-915	GSM 900 uplink	898	GSM Tx
E-GSM Rx	925-960	GSM 900 downlink	925 943 958,8	GSM RxU GSM RxM GSM RxO
DCS Tx	1710-1785	GSM 1800 uplink	1748	DCS Tx
DCS Rx	1805-1880	GSM 1800 downlink	1820 1843 1875	DCS RxU DCS RxM DCS RxO
DECT	1880-1900	DECT	1890	DECT
UMTS Tx	1920-1980	UMTS uplink	1950	UMTS Tx
UMTS Rx	2110-2170	UMTS downlink	2113 2140 2167	UMTS RxU UMTS RxM UMTS RxO
WIFI	2400-2500	WLAN, Bluetooth, ISM	2450	WIFI

Abbildung 5.1 (Mann et al. 2005) zeigt eine Prinzipskizze der HF-Funktionalität einer Vorgängerversion des hier verwendeten Dosimeters: Die drei zum Erreichen einer isotropen Empfangscharakteristik orthogonal angeordneten Empfangsantennen (links) werden über Schalter (C1 und C2) nacheinander mit der Hochfrequenzeinheit verbunden; die Signale gelangen über die das jeweilige Band nachbildenden Filter (F1 bis F8) und Verstärker (A1 bis A5) zu den Detektoren (rechts), die die Signale messen bzw. bewerten.

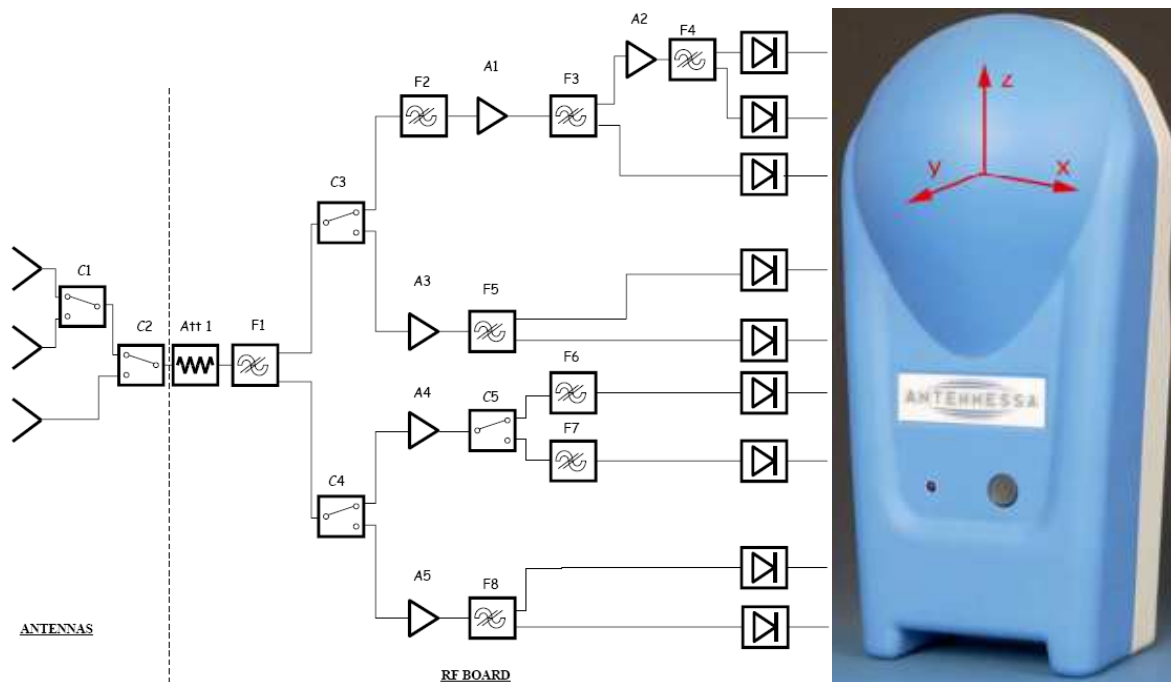


Abbildung 5.1: HF-Prinzipskizze des Personendosimeters (aus Mann et al., 2005)

Damit lassen sich folgende Möglichkeiten für einen Defekt des Dosimeters konstruieren, die durch die Qualitätssicherung erkannt werden müssen:

- Durch starke Felder (z.B. Handy mit maximaler Sendeleistung direkt am Dosimeter) besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Überlastung und eines irreversiblen Schadens zumindest einer Detektoreinheit.
- Durch mechanische Überlastung (Herunterfallen o. ä.) besteht die Gefahr, dass interne elektrische Verbindungen abreißen oder nicht mehr zuverlässig Kontakt geben. Die mechanische Lage der Bauteile (z.B. Antenne) kann sich verändern, so dass die Kalibrierung des Dosimeters nicht mehr korrekt ist. Hierbei ist zu beachten, dass das Dosimeter nicht von Hochfrequenz-Messtechnikern, sondern von „fachfremden“ Interviewern bedient wird.
- Softwarefehler
- Hardwarefehler, z.B. nicht zuverlässiges Schalten der drei orthogonalen Eingangsantennen.

Es muss davon ausgegangen werden, dass im Fall eines Defektes des Dosimeters nicht unbedingt GAR KEINE WERTE angezeigt werden, sondern die Anzeigewerte „lediglich“ falsch bzw. ungenau sind. Insofern werden einfache Funktionstests (nimmt das Gerät Immissionsdaten auf oder nicht) als nicht ausreichend im Sinne einer wirkungsvollen Qualitätssicherung erachtet.

Geeigneter ist es, das Dosimeter mit Feldern verschiedener Frequenzen zu beaufschlagen und die Ergebnisse im Sinne einer Gerätehistorie zusammenzustellen. Die Befeldung erfolgte zweckmäßigerweise in einer definierten, von äußeren (Feld)Einflüssen ungestörten Umgebung. Hierfür wurde eine GTEM-Zelle (GTEM 250, MEB Messelektronik Berlin) gewählt, siehe Abbildung 5.2. Die Gigahertz-Transversal-Elektro-Magnetische Zelle stellt einen aufgeweiteten Koaxialleiter dar. Am Eingang wird die GTEM-Zelle mit einem Signalgenerator (Agilent HP 8648D, 9 kHz - 4 GHz) verbunden. Die Signalleistung erzeugt im Inneren der Zelle zwischen Innenleiter (Septum) und Boden ein definiertes elektrisches Feld. Die transversal-elektromagnetische Welle wird am rechten Zellende für niedrige Frequenzen mit einem Abschlusswiderstandsnetzwerk (Z_w) und für hohe Frequenzen mit einer Absorberauslegung

„absorbiert“, so dass sich im Inneren der Zelle ungestörte Feldbedingungen ergeben, die nicht durch stehende Wellen o.ä. gestört sind. GTEM-Zellen werden in der EMV-Messtechnik verbreitet für Störfestigkeitsuntersuchungen von elektrischen und elektronischen Geräten eingesetzt.

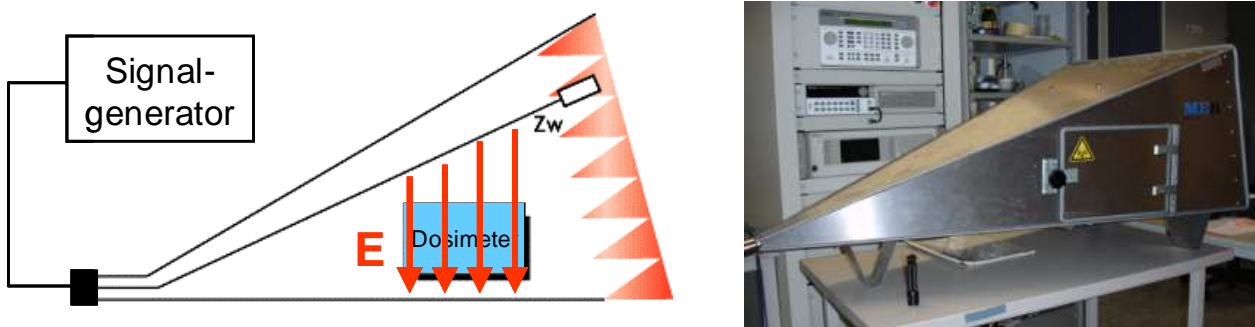


Abbildung 5.2: GTEM-Zelle als Prinzipskizze (links) und realer Aufbau (rechts)

Neben der definierten Felderzeugung und der äußeren Abschirmung haben GTEM-Zellen den Vorteil, dass man mit relativ geringen Eingangsleistungen von wenigen Milliwatt Feldstärken von einigen Volt/Meter erzeugen kann, so dass aufwändige Verstärker entfallen können. Bei vorliegenden Untersuchungen wurden die Dosimeter mit Feldstärken von etwa 1 Volt/Meter beaufschlagt. Größere Feldstärken wurden als nicht relevant für typische Immissionen im häuslichen Umfeld erachtet.

Der Signalgenerator wurde mittels einer für das Projekt geschriebenen Software (System Agilent HP VEE) angesteuert und erzeugt in einem definierten Zeitraster Signale in den 12 Frequenzbändern des Dosimeters. Das Dosimeter im Inneren der Zelle zeichnet diese Felder auf. Nach Beendigung der Testsignalfolge wird das Gerät mit der Herstellersoftware an einem Notebook ausgelesen.

Obwohl primär die Frequenzbereiche der Mobilfunk-Downlinkfrequenzen für vorliegende Studie von Interesse waren, wurden in den übrigen Frequenzbändern auch jeweils eine Frequenz in die Testsignalfolge aufgenommen, und zwar jeweils die Mittenfrequenz des Bandes. In den Mobilfunk-Downlinkbereichen wurden jeweils drei Frequenzen ausgewählt, und zwar die Anfangsfrequenz, die Mittenfrequenz und die Endfrequenz der jeweiligen Mobilfunkkanäle. Dies ist in Tabelle 3.1 dargestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei GSM 1800 Downlink (DCS Rx) in Deutschland die Kanalbelegung derzeit nur von etwa 1820 MHz (T-Mobile) bis 1875 MHz (E-Plus) geht und somit das gesamte Band von 1805 MHz bis 1880 MHz nicht ausgeschöpft wird. Bei UMTS liegt in Deutschland der erste Kanal bei etwa 2113 MHz Mittenfrequenz (Vodafone) und der letzte Kanal des Bandes bei etwa 2167 MHz (T-Mobile).

Besondere Anstrengungen wurden hinsichtlich einer geeigneten und reproduzierbaren Positionierung des Dosimeters in der GTEM-Zelle unternommen: Aufgrund der senkrechten Orientierung des E-Feld-Vektors in der Zelle würde bei einer waagerechten Lage des Gerätes in der Zelle nur eine der drei orthogonalen Antennen überprüft, und zwar die in y-Richtung nach Abbildung 5.1. Eine geeignete Positionierung des Dosimeters ist in der Lage, zwei Antennen gleichzeitig zu überprüfen. Die dritte Antennenrichtung kann nur durch eine zweite Lage des Dosimeters getestet werden. Abbildung 5.3 zeigt die beiden Testpositionen. Zur reproduzierbaren Positionierung wurde eine elektrisch „durchsichtige“ Halterung aus Styropor angefertigt, die am Zellenboden aufgeklebt wurde.



Abbildung 5.3: Lage 1 (links) und 2 (rechts) des Dosimeters mit Halterung in der Zelle

Bei diesen Positionen ist zwar die bei EMV-Messungen übliche Daumenregel „Prüflingshöhe maximal ein Drittel der Septumshöhe“ zum Erreichen eines möglichst homogenen E-Feldes nicht mehr eingehalten; dies ist bei vorliegenden Tests aber irrelevant, da keine absoluten, sondern lediglich Relativmessungen durchgeführt wurden und somit ein homogenes Feld im Bereich des zu testenden Dosimeters entbehrlich ist.

In ausführlichen Testreihen wurde sowohl die Reproduzierbarkeit des Dosimeters an sich (mehrere aufeinander folgende Messungen bei unveränderter Lage des Dosimeters), als auch die Reproduzierbarkeit der Positionierung des Dosimeters in der Halterung untersucht. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

Bei zehn aufeinander folgenden Messungen gleicher Frequenz wurde exemplarisch festgestellt, dass die Anzeigewerte im Mobilfunk-Downlinkbereich um bis zu $-0,8 \dots +0,5$ dB vom Mittelwert schwankten, siehe Abbildung 5.4. Diese geringfügigen Schwankungen können zumindest teilweise auch auf die Reproduzierbarkeit/Stabilität der Signalquelle zurückgeführt werden.

Bei dieser Messung wurden sequenziell für jeden Funkdienst (beginnend mit FM) 10 aufeinander folgende Messungen im Abstand von 4 Sekunden durchgeführt. Nach den 10 Messungen wurde der Signalgenerator für einen Messzyklus abgeschaltet und dann für die folgenden 10 Messungen auf die Frequenz des nächsten Funkdienstes eingestellt. Somit repräsentiert die waagerechte Achse in Abbildung 5.4, die normalerweise die zeitliche Abfolge der gemessenen Immissionen darstellt, auch die einzelnen Frequenzbereiche des Dosimeters, die jeweils farblich kodiert sind. Als Konsequenz für die späteren Messungen wurde deswegen entschieden, pro Frequenz nicht nur eine, sondern drei Messungen durchzuführen und über die Messwerte zu mitteln.

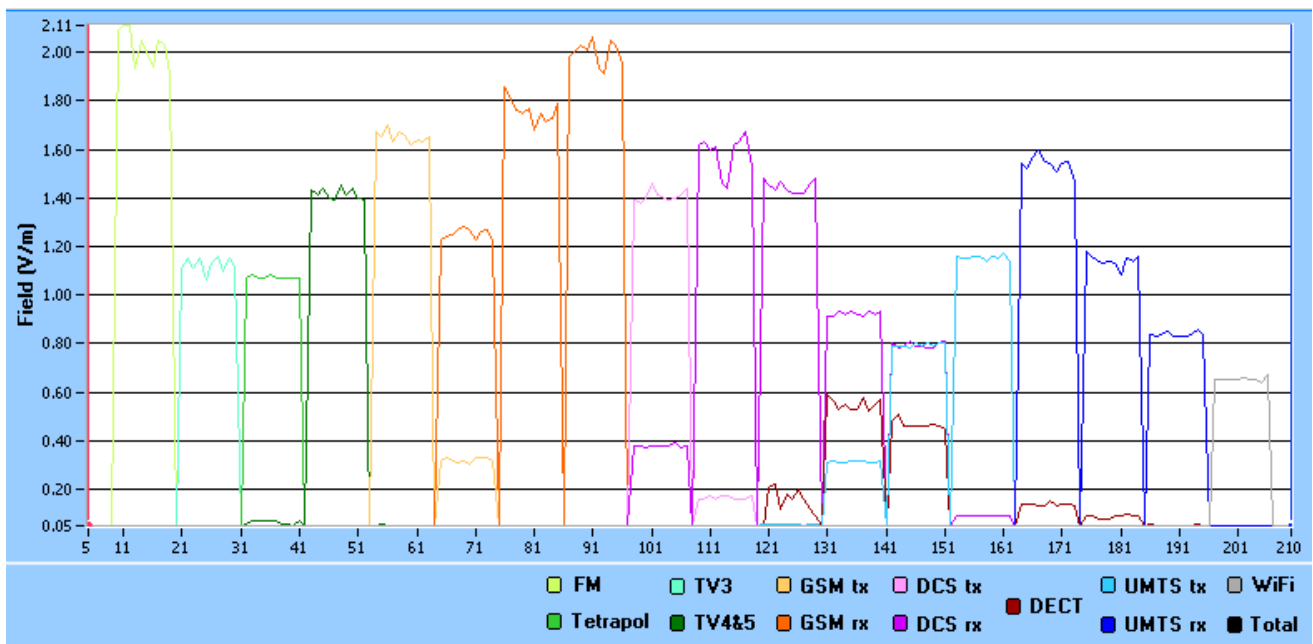


Abbildung 5.4: Reproduzierbarkeitsuntersuchungen bei 10 Messungen pro Frequenz, Gerät DE_001_0306, Lage 1

Durch diese Maßnahme konnte die Reproduzierbarkeit der Messungen ohne Gerätewechsel in den Mobilfunk-Downlinkbereichen auf Werte $\leq \pm 0,2$ dB verbessert werden. Die Reproduzierbarkeit der Positionierung in der Halterung konnte als in vergleichbarer Größenordnung liegend getestet werden.

Alle Messungen wurden mit CW-Signalen, d.h. reinen Sinussignalen, durchgeführt. Diese Signalform wurde seitens Antennenna für die Frequenzbereiche GSM Rx, DCS Rx, UMTS Rx, UMTS Tx und WIFI auch zum Kalibrieren verwendet. Die Dienste GSM Tx, DCS Tx und DECT arbeiten hingegen mit TDMA modulierten Signalen. Diese spezielle Signalform wurde bei vorliegenden Untersuchungen jedoch nicht verwendet, da diese Signale nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen standen und darüber hinaus die Tests primär als Vergleichstests ausgelegt waren.

Zur Abschätzung einer „Toleranzschwelle“ für die Abweichung vom Ausgangszustand, bei deren Überschreitung ein Dosimeter als defekt erkannt wird, sind neben Reproduzierbarkeitsuntersuchungen des Dosimeters bzw. der Positionierung auch Untersuchungen bezüglich der Streuung der 20 in dieser Studie verwendeten Dosimeter geeignet. Abbildung 5.5 zeigt die Ergebnisse der Erstüberprüfung aller 20 Dosimeter unter identischen Bedingungen. In den für vorliegende Untersuchungen besonders relevanten Mobilfunk-Downlinkbereichen zeigen die Geräte maximale Streuungen von bis zu $-2,1 \dots +2,3$ dB (Lage 2, Frequenz UMTS RxU). Vor allem bei DECT fällt eine wesentlich größere Streuung auf; allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass das verwendete Testsignal hier ein Sinussignal (CW) und kein zeitliche gepulstes TDMA-Signal, wie es dem DECT-Standard entspräche, war. Außerdem muss bei der Interpretation der Abbildung 5.5 beachtet werden, dass die hier durchgeführten Messungen in einer GTEM-Zelle (bei relativ nahem Abstand zum Septum) nicht unbedingt mit Fernfeldmessungen in Abständen von einigen 100 m Entfernung von einer Mobilfunk-Basisstation gleichgesetzt werden dürfen. Insofern ist es möglich, dass die Streuung der Geräte unter Fernfeldbedingungen günstiger ausfällt als hier gemessen, was jedoch wiederum aus Sicht einer vergleichenden Überprüfung bei der Qualitätssicherung irrelevant ist.

Trotzdem kann bereits hier abgeleitet werden, dass eine Toleranzschwelle, die kleiner als die Streuung der Messgeräte ist, wenig Sinn macht. Berücksichtigt man ferner die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitsuntersuchungen, dann erscheint eine Toleranzschwelle von ± 3 dB für

vorliegende Untersuchungen sinnvoll. In dieser Größenordnung liegen auch übliche Messunsicherheiten für Immissionsmessungen an GSM- und UMTS-Mobilfunkbasisstationen, siehe z.B. (Bornkessel et al. 2006; Bornkessel und Schubert 2005). Außerdem wurde als Konsequenz der Messungen zur Streuung entschieden, jedes Dosimeter mit *seinem* individuellen Ausgangszustand zu vergleichen (und nicht mit einem Mittelwert über alle verwendeten Dosimeter).

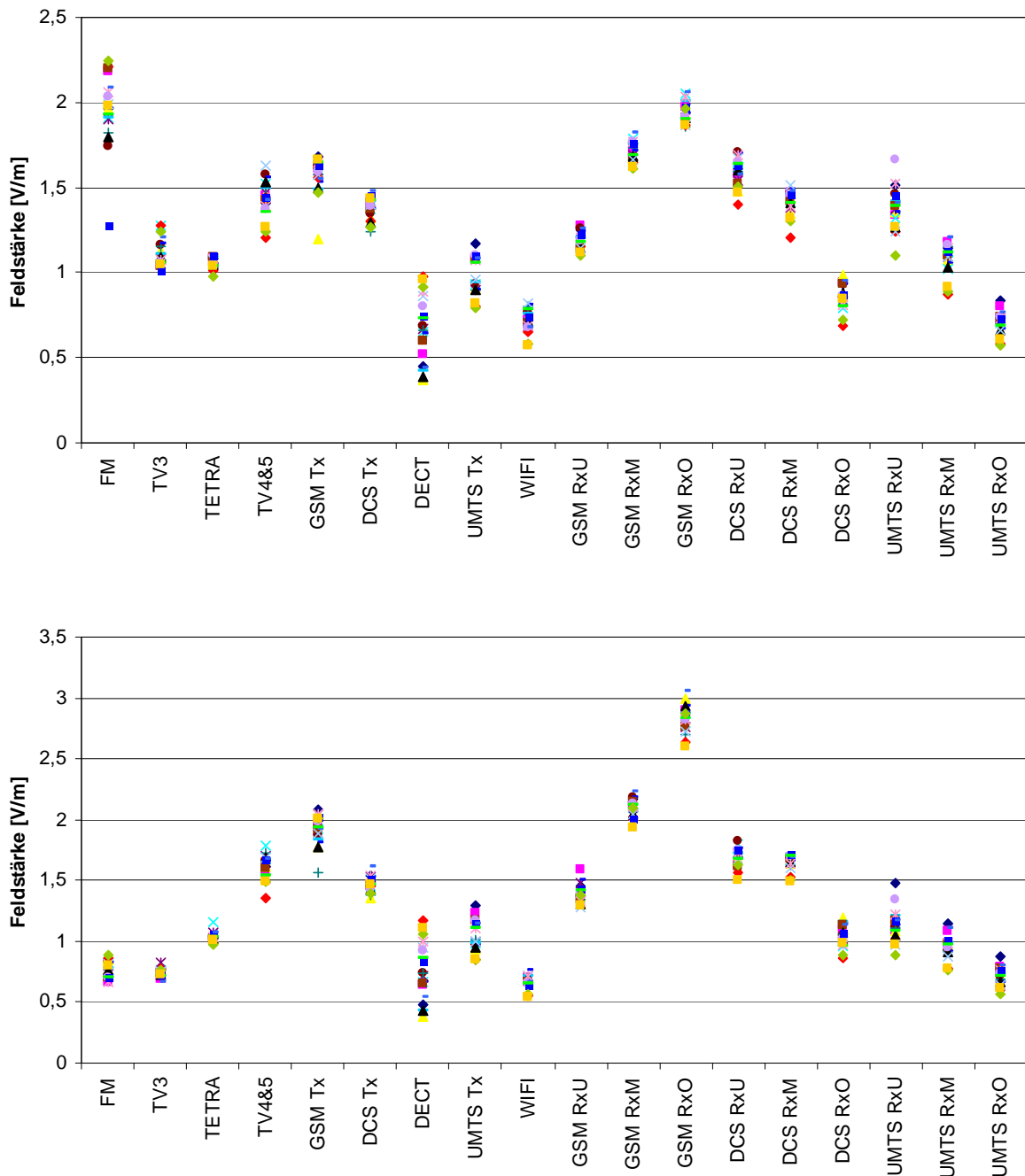


Abbildung 5.5: Streuung der Dosimeter in Lage 1 (oben) und Lage 2 (unten)

5.3.2.3 Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse der Qualitätsmessungen ausführlich vorgestellt und diskutiert. Die Messungen erfolgten wie in Abschnitt 5.3.2.2 beschrieben; vor jeder Messreihe wurde das Ausgangssignal des Signalgenerators bei allen verwendeten 18 Testfrequenzen mit einem kalibrierten Leistungsmesser überprüft. Tabelle 5.8 fasst die Daten der Messungen zusammen.

Tabelle 5.8: Frequenzbereiche des Personendosimeters EME Spy 120

Gerät DE_	Vormessung	Mittenmessung	Endmessung	Urteil	Bemerkung
001_0306	01.03.2006	04.05.2006	19.05.2006	pass	Hardware Downgrade bei Antennessa 07/2006, danach Abschlusstest 11.07.06
002_0306	01.03.2006	-	11.07.2006	pass	keine Mittenmessung, da von TNS wegen Softwareproblemen aus dem Verkehr gezogen; Hardware Downgrade bei Antennessa 07/2006
003_0306	01.03.2006	-	13.09.2006	pass	keine Mittenmessung, da Interviewer bei Mittenmessung fast fertig
004_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
005_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
006_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
007_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
007_5105	08.05.2006	-	13.09.2006	pass	Vormessungen wegen Verfügbarkeit sehr spät, deswegen keine Mittenmessungen
008_0306	01.03.2006	06.06.2006	11.07.2006	fail	Mittenmessung zeigte Fehler, 07/2006 bei Antennessa repariert, danach nicht mehr eingesetzt
008_5105	04.05.2006	-	13.09.2006	pass	Vormessungen wegen Verfügbarkeit sehr spät, deswegen keine Mittenmessungen
009_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
009_5105	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
010_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
011_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
012_0306	01.03.2006	28.05.2006	13.09.2006	pass	-
013_0306	01.03.2006	07.06.2006	13.09.2006	pass	-
014_0306	01.03.2006	19.05.2006	13.09.2006	pass	-
015_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
016_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-
018_0306	01.03.2006	06.06.2006	13.09.2006	pass	-

In den nachfolgenden Grafiken sind die einzelnen Gerätehistorien detailliert dargestellt. Dabei kennzeichnet die linke Bildhälfte die „wichtigen Funkdienste“ (Mobilfunk-Downlinkbereich) und die rechte Hälfte die restlichen Funkdienste. Als waagerechte rote Linien ist der Bereich der Toleranzschwelle angegeben. Überschreiten die die Abweichung vom Ausgangszustand kennzeichnenden Balken die rote Markierung, ist das Gerät fehlerhaft.

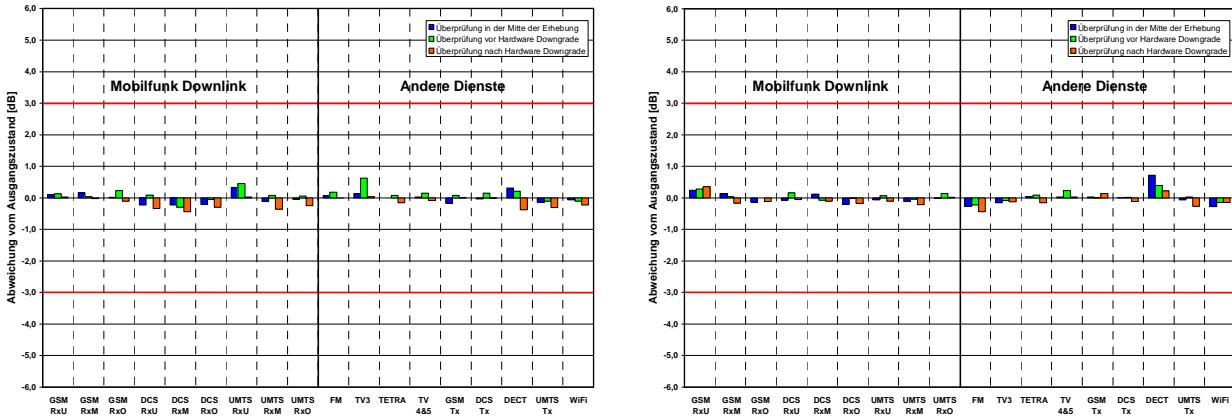


Abbildung 5.6: Historie von DE_001_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

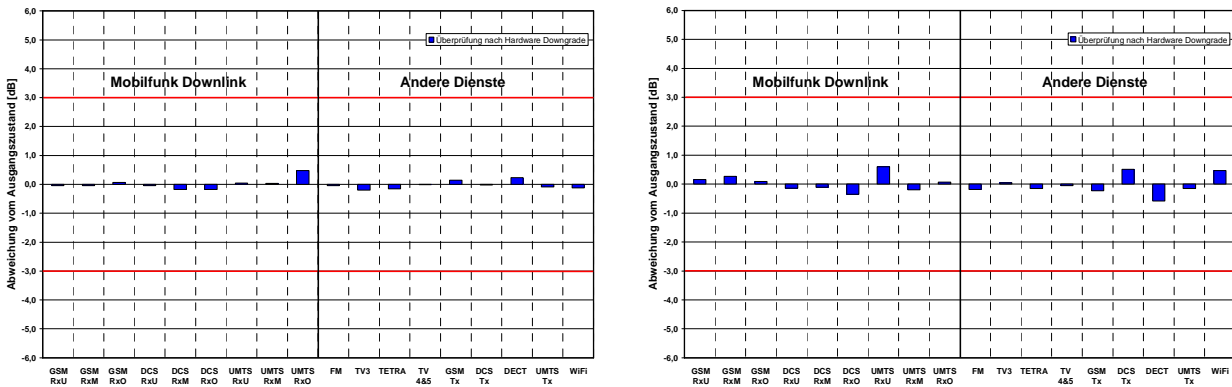


Abbildung 5.7: Historie von DE_002_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

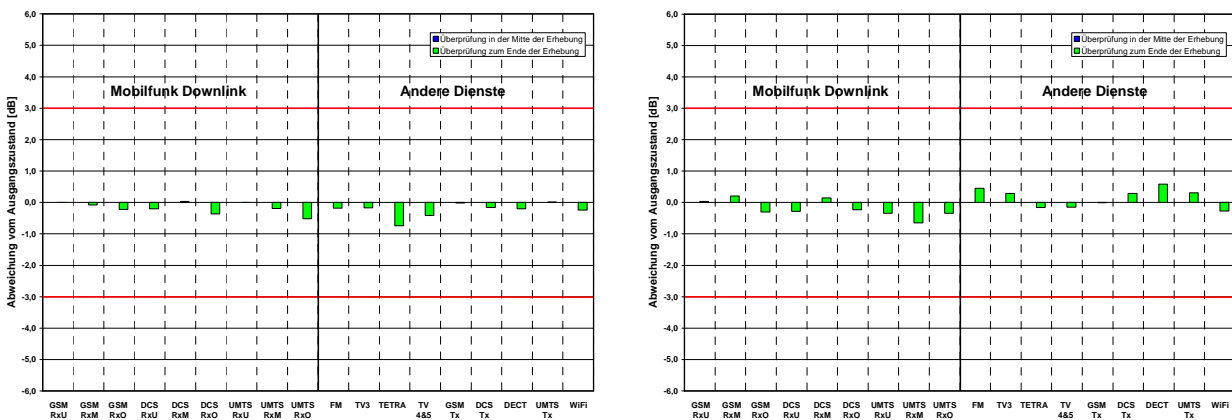


Abbildung 5.8: Historie von DE_003_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (keine Überprüfung in der Mitte der Erhebung, vgl. Tabelle 5.8)

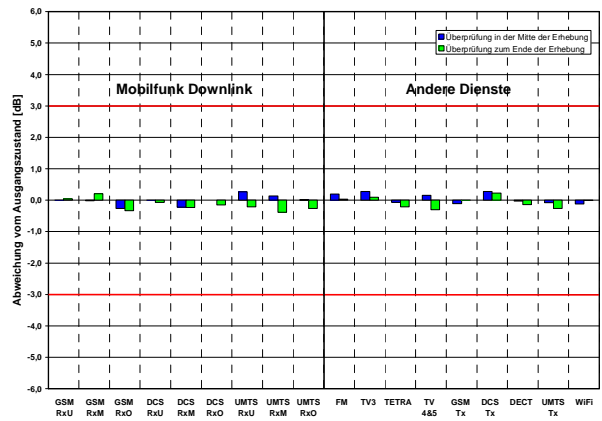
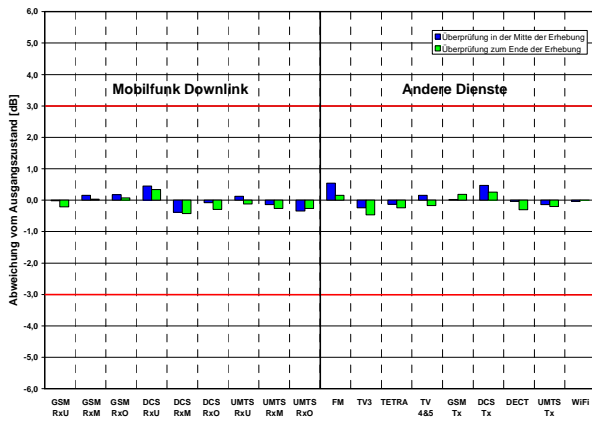


Abbildung 5.9: Historie von DE_004_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

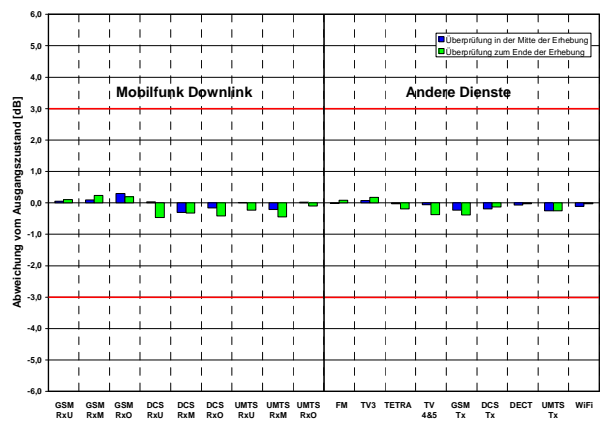
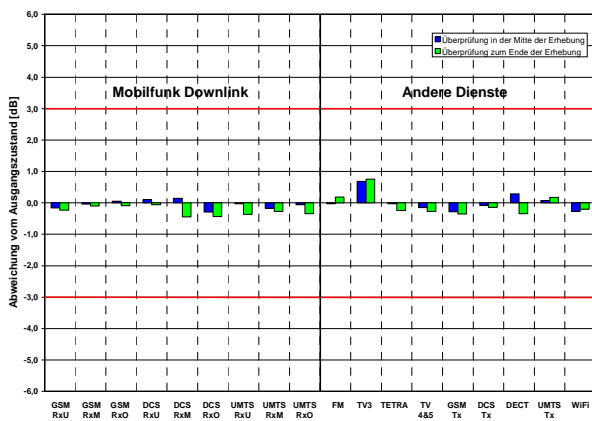


Abbildung 5.10: Historie von DE_005_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

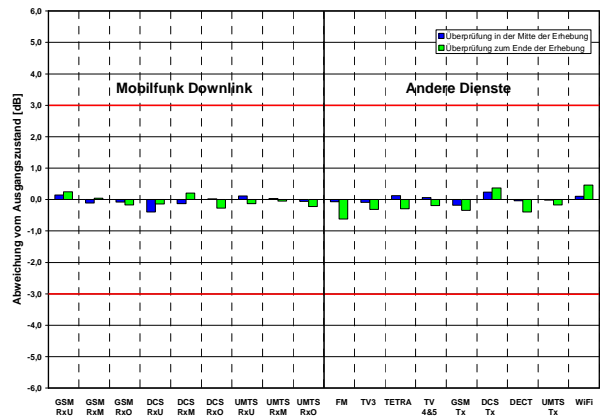
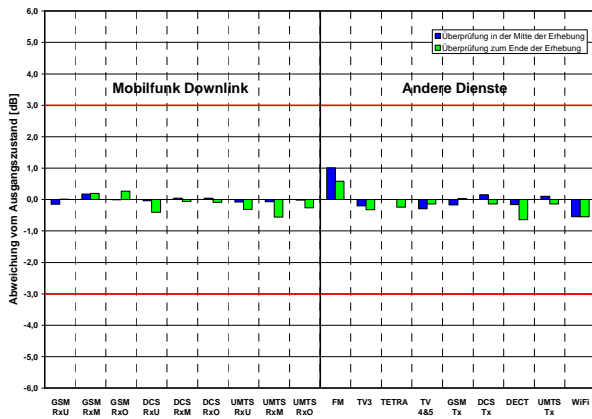


Abbildung 5.11: Historie von DE_006_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

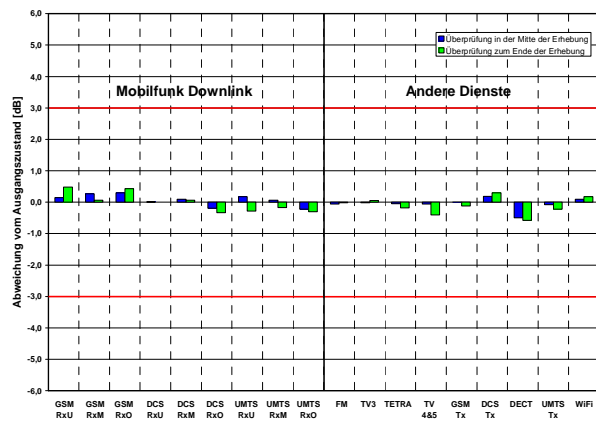
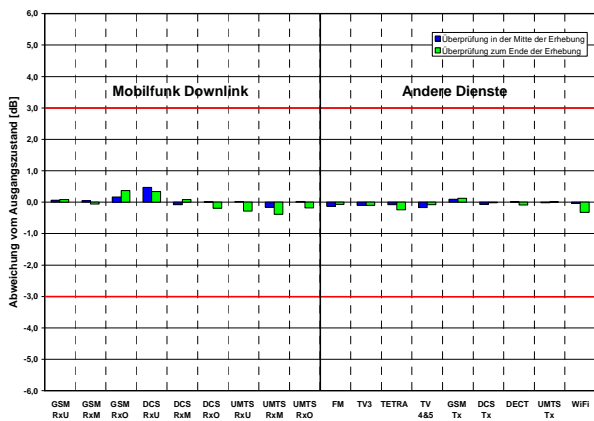


Abbildung 5.12: Historie von DE_007_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

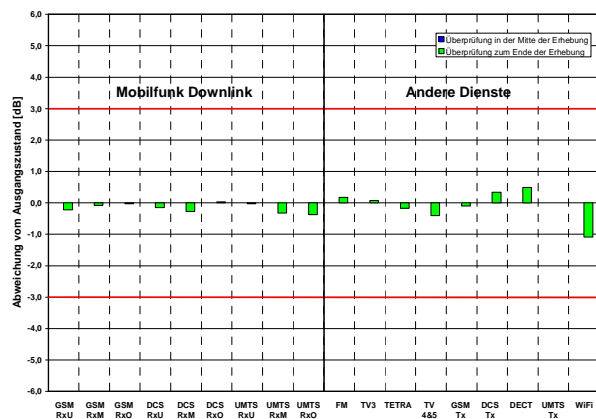
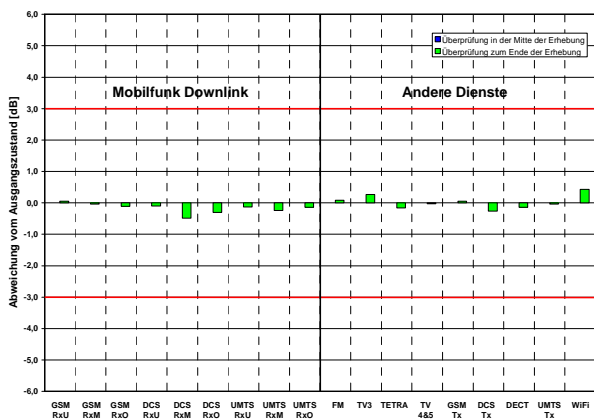


Abbildung 5.13: Historie von DE_007_5105 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (keine Überprüfung in der Mitte der Erhebung, vgl. Tabelle 5.8)

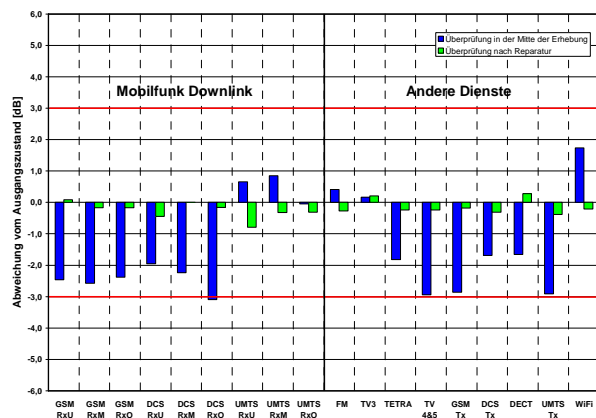
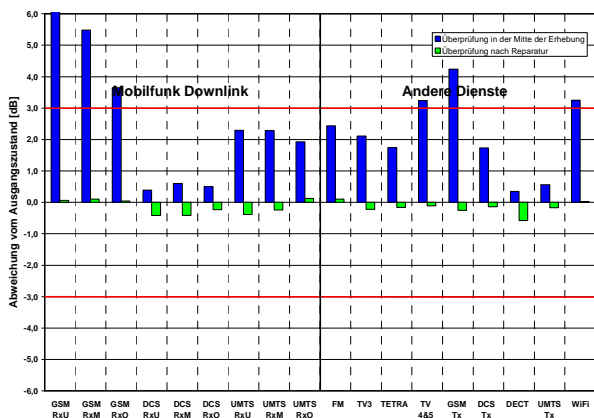


Abbildung 5.14: Historie von DE_008_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (Gerät wurde als defekt erkannt und repariert)

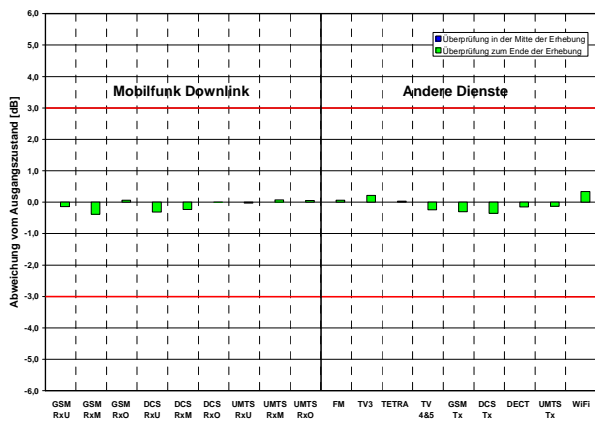
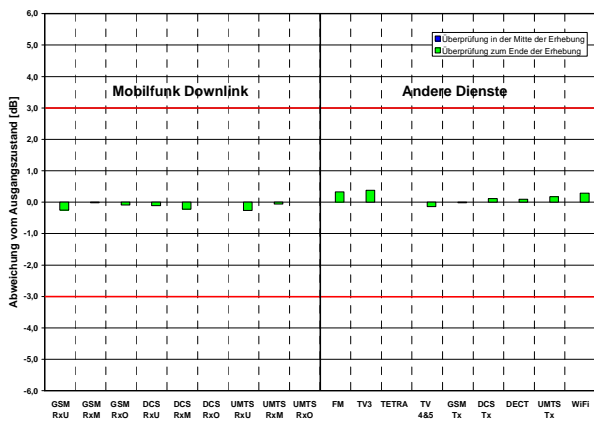


Abbildung 5.15: Historie von DE_008_5105 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts) (keine Überprüfung in der Mitte der Erhebung, vgl. Tabelle 5.8)

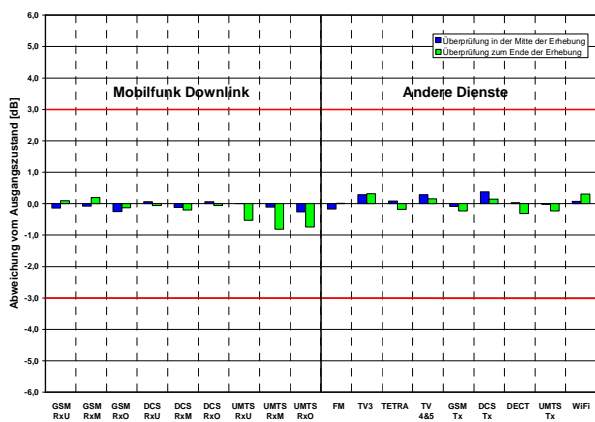
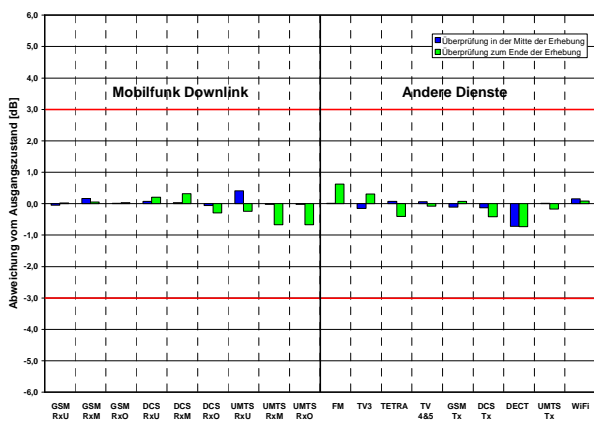


Abbildung 5.16: Historie von DE_009_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

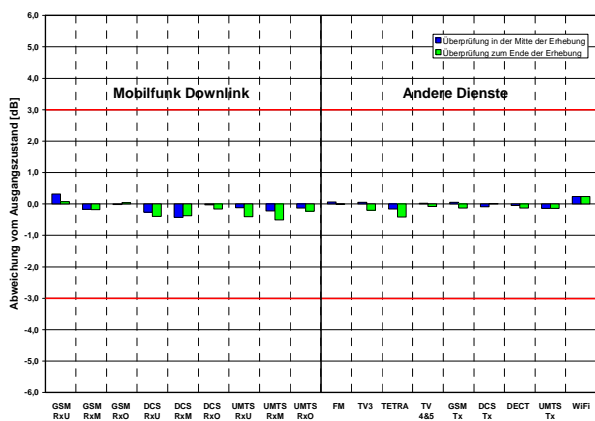
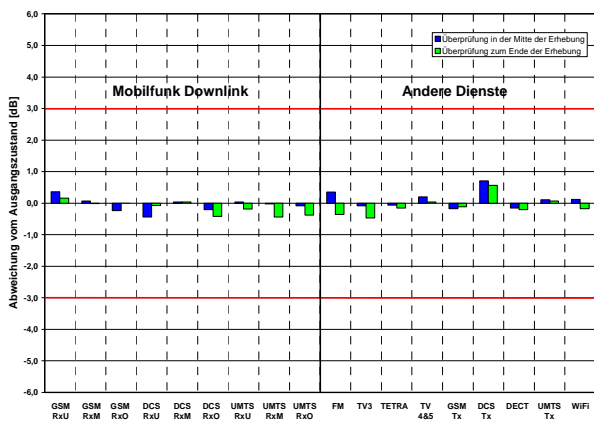


Abbildung 5.17: Historie von DE_009_5105 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

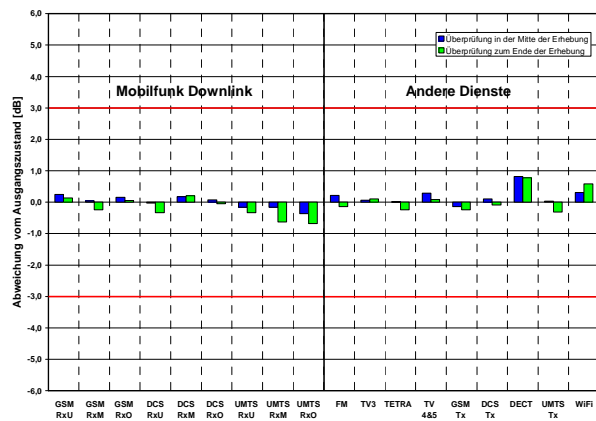
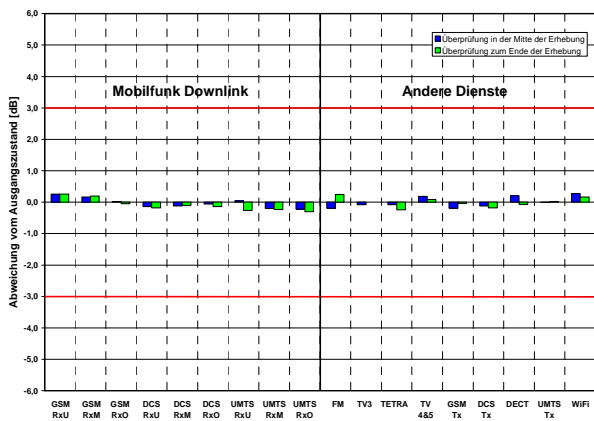


Abbildung 5.18: Historie von DE_010_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

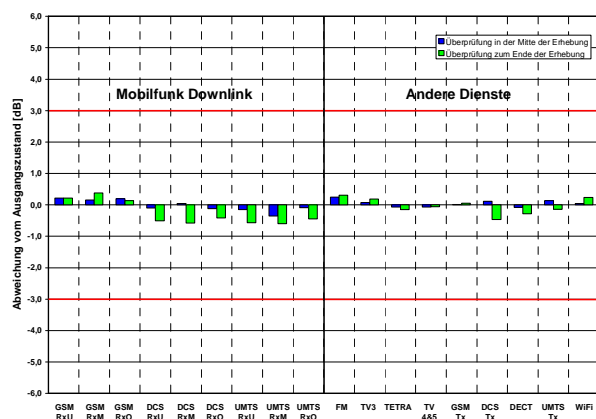
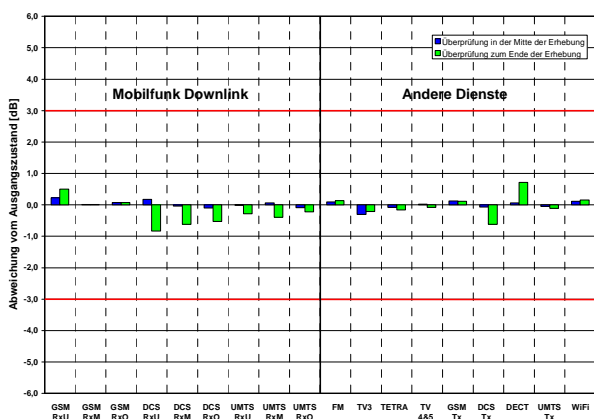


Abbildung 5.19: Historie von DE_011_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

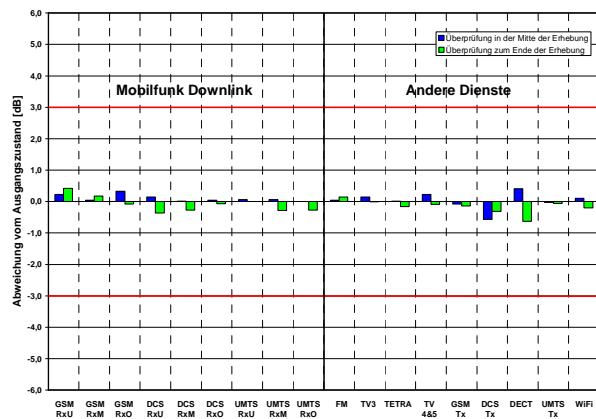
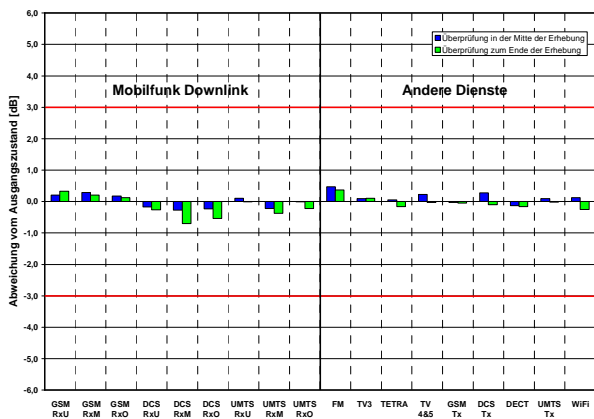


Abbildung 5.20: Historie von DE_012_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

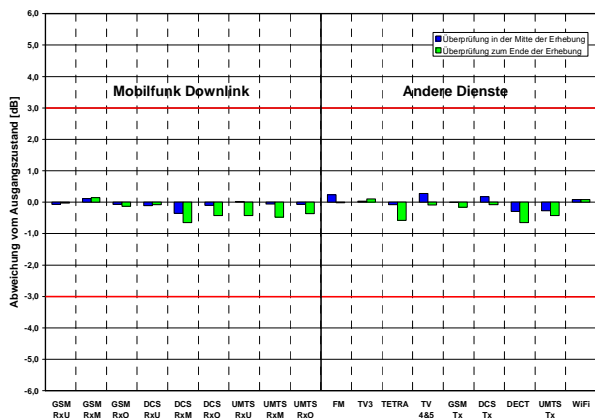
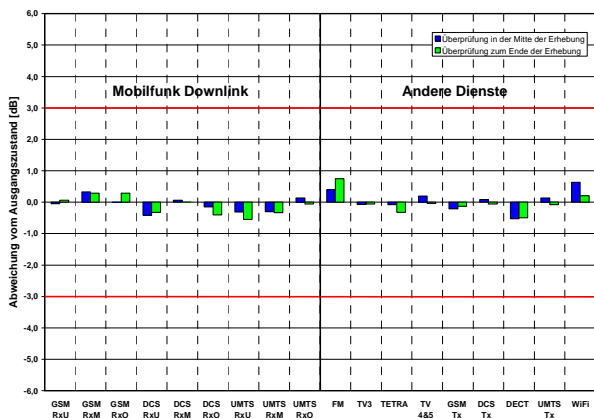


Abbildung 5.21: Historie von DE_013_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

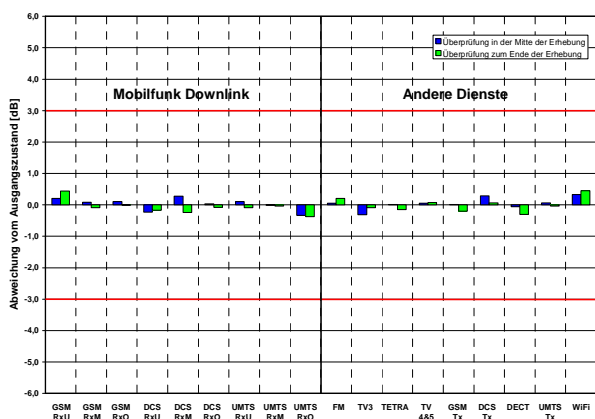
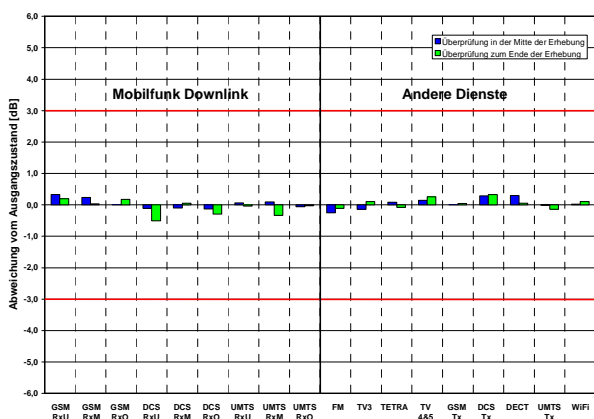


Abbildung 5.22: Historie von DE_014_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

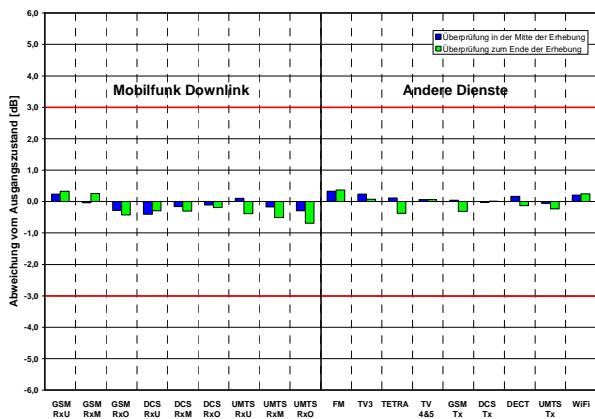
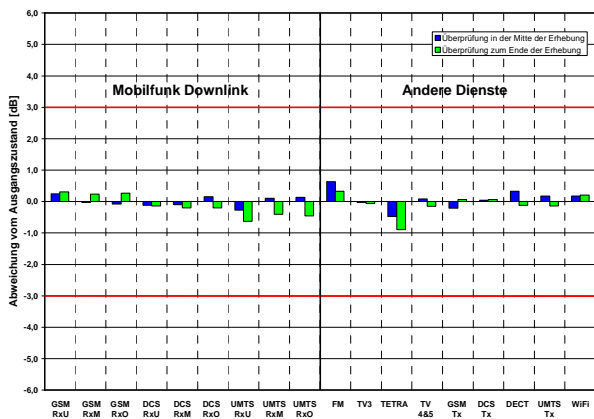


Abbildung 5.23: Historie von DE_015_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

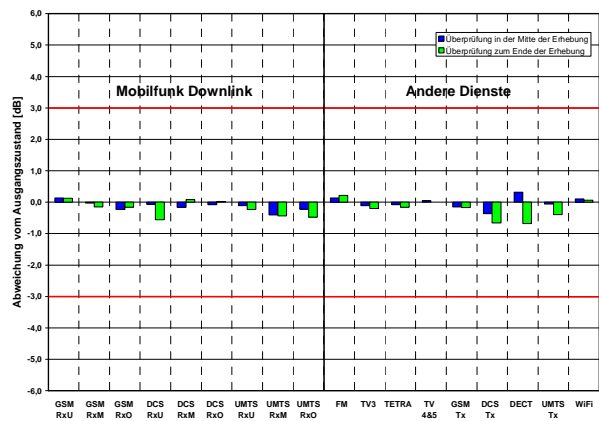
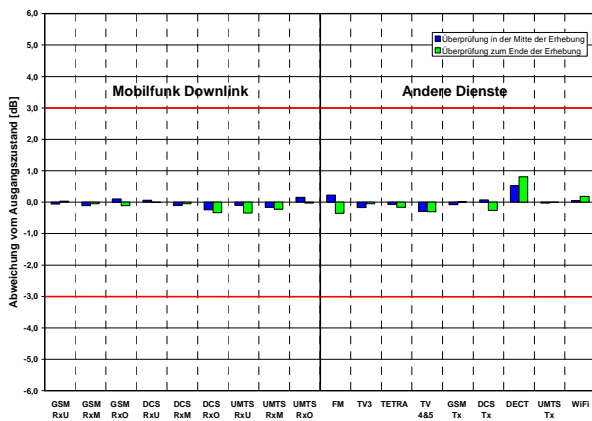


Abbildung 5.24: Historie von DE_016_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

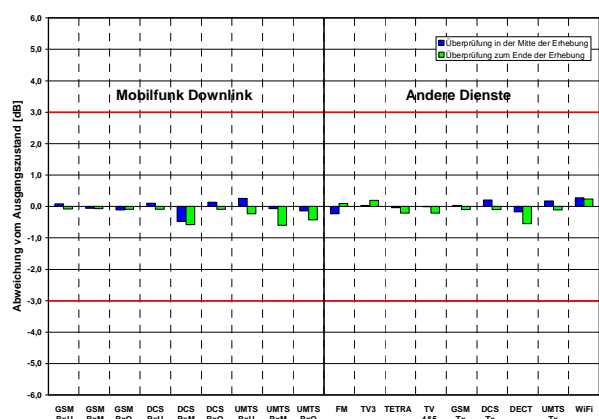
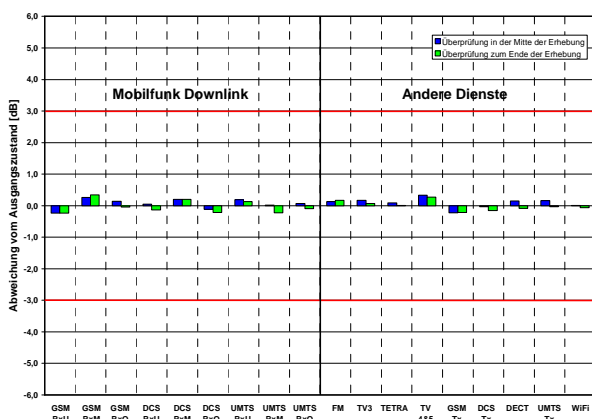


Abbildung 5.25: Historie von DE_018_0306 in Lage 1 (links) und Lage 2 (rechts)

Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Nur ein Gerät, und zwar DE_008_0306, musste während der Feldmessungen als fehlerhaft eingestuft werden. Es wurde an Antenna zur Überprüfung geschickt. Antenna bestätigte die Fehlerhaftigkeit (Verbindung zwischen HF-Board und Antenne war defekt) und reparierte das Gerät. Nach der Reparatur war, wie Abbildung 5.14 zeigt, das Gerät wieder voll funktionstüchtig und mit seinem Anfangszustand identisch. Der Fehler manifestierte sich lediglich in gegenüber dem Ausgangszustand *veränderten* Werten. Das Gerät konnte jedoch weiterhin betrieben werden, nahm Werte auf und gab diese aus. Bei einer „einfachen“ Funktionskontrolle wäre dieser Fehler vermutlich überhaupt nicht aufgefallen. Für Messungen wurde das Gerät nicht weiter eingesetzt.
- Alle anderen Dosimeter wurden als voll funktionstüchtig eingestuft. Die Abweichungen vom Ausgangszustand waren wesentlich besser als die veranschlagten ± 3 dB und erreichten Werte besser als ± 1 dB. In den Mobilfunk-Downlinkfrequenzbereichen waren die Abweichungen sogar überwiegend kleiner als $\pm 0,5$ dB (± 6 % bezüglich der elektrischen Feldstärke) und erreichten damit etwa die Größenordnung, die allein für die Reproduzierbarkeit von Dosimeter und Positionierung innerhalb der Voruntersuchungen festgestellt wurde.
- Insbesondere auch die Geräte DE_007_5105, DE_008_5105 und DE_009_5105 (Firmware Version 1A) sowie die Geräte DE_001_0306 und DE_002_0306 (Firmware Version 2, nach Problemen mit CAPI-Software von Antenna downgraded), die mit einer gegenüber den restlichen Geräten veränderten Firmware (Version 1B) liefen und im Feld teilweise Ansteuerungsprobleme zeigten, waren bezüglich der Messresultate völlig unauffällig.

Somit lässt sich bezüglich der Qualitätsuntersuchungen der Dosimeter folgendes Fazit ziehen:

- 19 der 20 Dosimeter haben während der gesamten Einsatzzeit stabil und reproduzierbar gemessen. Die Überprüfungen ergaben maximale Abweichungen gegenüber dem Anfangszustand von ± 1 dB, in den besonders relevanten Mobilfunk-Downlinkfrequenzbereichen sogar überwiegend besser $\pm 0,5$ dB.
- Ein Gerät wurde als defekt erkannt und wurde von Antennessa repariert. Der Defekt äußerte sich nicht in einem Totalausfall des Gerätes, sondern in falschen Werten und wäre bei einer einfachen Funktionsüberprüfung vermutlich nicht erkannt worden.
- Das entwickelte Verfahren zur Dosimeterüberprüfung hat sich als zuverlässig und effektiv erwiesen.
- Durch die kontinuierliche Qualitätsüberprüfung der Dosimeter konnte das Vertrauen in die bei der Feldarbeit aufgenommenen Messwerte wesentlich gestärkt werden.

5.3.3 Datenmanagement

Während der Ergänzungserhebung sind zwei unterschiedliche Arten von Daten angefallen. Der eine dieser beiden Datenpools beinhaltet die so genannten Messdaten. Sie stellen die Ergebnisse der in den Wohnungen in 12 Frequenzbereichen durchgeführten messtechnischen Erfassungen dar. Ergänzt werden diese Messwerte durch folgende weitere Angaben: Datum der Messung, Uhrzeit der Einzelmessung, Spannung der Batterie des Messgerätes, Temperatur und Nummer des Messgerätes.

Darüber hinaus wurden von den Zielpersonen, bei denen die Messungen durchgeführt wurden, zwei Fragebögen ausgefüllt: ein Dokumentationsbogen und ein Kurzfragebogen (s. Anhang). Diese Daten werden im weiteren Verlauf als CAPI-Daten bezeichnet.

Insgesamt liegen zu 1500 Personen Mess- wie CAPI-Daten vor. Im Laufe des Erhebungsprozesses waren aufgrund unerwarteter Kompatibilitätsprobleme mit den verschiedenen Versionen der Dosimeter Änderungen in dem Ablauf der Datenerfassung notwendig. Insgesamt gab es daher vier verschiedene CAPI-Versionen. Mit der ersten Version des CAPIs wurden 90 Interviews erfasst, mit der zweiten 84, der dritten 750 und der letzten 576. Es ergaben sich keine Probleme bei dem Zusammenspielen der Fragen aus dem CAPI zwischen den einzelnen CAPI-Versionen.

5.3.3.1 Die Messdaten

TNS lieferte in zweiwöchentlichen Abständen die jeweils neu angefallenen Messdaten in Form von Excel-Tabellen an die Universität Bielefeld. Dort wurden diese Daten in eine Access-basierte Datenbank importiert und ersten Kontrollen unterzogen. Diese Kontrollen sowie Plausibilitätsprüfungen beinhalteten folgende Fragen:

- Sind Datum und Uhrzeit plausibel?
- Liegt die Temperatur während der Messung unter 10°C ?
- Liegt die Spannung der Batterie über 3500 mV?
(Ab 3400 mV ist die Spannung nicht mehr ausreichend um Messungen durchzuführen.)
- Werden in einem Messvorgang (75 Messungen je 5 min) in den 12 Frequenzen überhaupt Werte gemessen?
- Wird an einem Messpunkt das Maximum von 5V/m erreicht?
Die Obergrenze wurde im Rahmen dieser Testmessungen ausschließlich erreicht, indem ein Mobiltelefon direkt neben das Messgerät gehalten wurde.)

- Wird an einem Messpunkt ein Maximum von 3 V/m erreicht?
(Diese Grenze diente lediglich intern zur Sensitivitätsanalyse.)

Die Ergebnisse wurden in einem Bericht protokolliert. Dabei wurden die auftretenden Auffälligkeiten mit Hilfe eines Programms markiert. Eine Zusammenfassung dieses Berichts wurde TNS übermittelt. Sie enthielt einen quantitativen Überblick der übermittelten Daten sowie eine Auflistung der Auffälligkeiten.

Bericht über die am 19.07.2006 übermittelten Messdaten der Vertiefungserhebung (QUEBEB)

Geräte-Nr.	Version	RespID	Datum	Beginn	Position	Anzahl	Temp (min)	Volt (min)	Zustand
DE_004_0306									
47892E01									
		709800046	12.07.2006						
				16:16:11	R	75	239	3868	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				16:24:07	U	75	238	3862	Es ist eine Exposition gemessen worden.
		709800047	12.07.2006						
				17:27:57	M	75	254	3869	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				17:35:24	L	75	249	3863	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				17:41:35	R	75	247	3849	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				17:48:04	U	75	244	3839	Es ist eine Exposition gemessen worden.
		709800048	12.07.2006						
				18:15:21	M	75	236	3854	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				18:21:42	L	75	239	3862	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				18:28:55	R	75	240	3850	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				18:36:22	U	75	241	3842	Es ist eine Exposition gemessen worden.
		709800049	13.07.2006						
				12:14:37	M	75	253	3854	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				12:22:38	L	75	251	3849	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				12:30:00	R	75	250	3829	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				12:36:58	U	75	251	3822	Es ist eine Exposition gemessen worden.
		709800050	13.07.2006						
				13:04:53	M	75	255	3834	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				13:12:04	L	75	253	3818	Es ist eine Exposition gemessen worden.
				13:18:54	R	75	251	3827	Es ist eine Exposition ≥ 3 V/m gemessen worden.
				13:25:43	U	75	250	3834	Es ist eine Exposition gemessen worden.

Münster, 19. Juli 2006 SEITE 2 VON 32

Abbildung 5.26: Auszug aus einem erstellten Bericht

Insgesamt kam es in 35 Fällen zu Auffälligkeiten. In 13 dieser Fälle resultierte daraus keinerlei Handlungsbedarf (Tabelle 5.9).

Tabelle 5.9: Auffälligkeiten bei den Messungen I (ohne Handlungsbedarf)

Anzahl	Auffälligkeiten
1	Temperatur unter 10°C (bei den ersten Einzelmessungen)
1	Die erste Messung begann vor dem festgelegten zeitlichen Minimum (7:00 Uhr)
2	Messwert(e) über 5 V/m auf jeweils einer Position
9	Insgesamt 12 Messreihen mit Werten über 3 V/m

Die restlichen 22 Fälle sind in Tabelle 5.10 dokumentiert. Dort ist auch der weitere Umgang mit ihnen beschrieben. Neun dieser Fälle fielen im weiteren Datencleaning heraus, da sie mit dem defekten Dosimeter durchgeführt wurden. In den anderen 13 Fällen fielen die Messungen mit den Auffälligkeiten bereits vor dem Datencleaning heraus, so dass sie nicht unter den 1500 Fällen aufgeführt werden.

Tabelle 5.10: Auffälligkeiten bei den Messungen II (mit Handlungsbedarf)

Anzahl	davon	Auffälligkeiten	Kommentar
9		Unplausible Uhrzeiten und Datumsangaben	Korrektur der Datumsangaben durch TNS; Messungen fielen am Ende heraus, da sie mit dem defektem Gerät durchgeführt wurden
	3	Abweichungen bei der Anzahl der Einzelmessungen	
	1	Zwei identische Messreihen	
1		Zwei identische Messreihen	Messung wurde wiederholt
6		Keinerlei Exposition gemessen	Wiederholung in fünf Fällen; in einem Fall unklar
3		Expositionen nur auf einer Position gemessen	Ein Fall mit Wiederholung, ein Fall ohne Wiederholung, bei einem Fall nicht nachvollziehbar, ob eine Wiederholung stattgefunden hat
3		Die zuerst gespeicherte Messreihe entspricht der zuletzt gespeicherten Messreihe der zuvor aufgesuchten Person.	Wiederholung unklar

5.3.3.2 Die CAPI- Daten

Die CAPI-Daten wurden in regelmäßigen Abständen in Form von aktualisierten SPSS-Dateien geliefert. Die Daten waren nach unterschiedlichen Versionen getrennt und umfassten alle bis dahin aufgelaufenen Fälle. Zusätzlich wurden weitere Dateien geliefert. Unter diesen Dateien befanden sich z.B. Auflistungen besonderer Vorkommnisse, aufgeteilt nach der jeweils verwendeten CAPI-Version.

Die SPSS-Dateien wurden im Excel-Format abgespeichert, um sie anschließend in eine Access-basierte Datenbank importieren zu können. Die Daten wurden hinsichtlich Vollständigkeit und Plausibilität überprüft.

Vollständigkeit der CAPI-Daten

Bei der Kontrolle der Vollständigkeit der Einträge ergab sich bei verschiedenen Variablen eine unterschiedliche Anzahl an fehlenden Werten. Bei diesen 24 Variablen handelt es sich um interne Parameter des Messgerätes oder um Variablen, die sich um die Fragen drehen, ob Messungen erfolgt sind und gespeichert wurden oder ob das Gerät korrekt aufgestellt wurde. Die Anzahl der fehlenden Werte lag im Median bei n=15 pro Variable und schwankte zwischen einem und 104. Die fehlenden Werte wurden mit den Einträgen unter der Variable „Besondere Vorkommnisse“ sowie mit den Auffälligkeiten der Messdaten abgeglichen. Bis auf eine Ausnahme waren keinerlei besondere Vorkommnisse vermerkt. Da es aber weder in diesem noch in irgendeinem anderen Fall zu Auffälligkeiten bei den zugehörigen Messdaten gekommen ist, resultierte aus den fehlenden Werten kein weiterer Handlungsbedarf. Bei Variablen, die für die Auswertung relevant sind, sind keinerlei fehlende Werte aufgetreten.

Plausibilität der CAPI-Daten

Bei der Eingabe der Werte fand bereits durch das CAPI-Programm eine automatisierte Plausibilitätskontrolle statt (s. Kapitel 5.3.1.2). Entsprechend ergab eine Kontrolle der Zulässigkeit der Einträge nur einen einzigen Fehler. In einem Fall war als Geburtsjahr das Jahr 1998 angegeben. Das Mindestalter für die Teilnahme lag aber bei 14 Jahren. Mit großer Wahrscheinlichkeit liegt an dieser Stelle ein Zahlendreher vor. Bestätigt wird diese Einschätzung durch den Vergleich mit den Angaben in der Vertiefungserhebung und dem Panel. In beiden Fällen ist bei der Zielperson als Geburtsjahr das Jahr 1989 angegeben.

Weitere Kontrollen bezogen sich auf den Vergleich von Einträgen unterschiedlicher, aber inhaltlich zusammenhängender Variablen oder mit korrespondierenden Angaben in den Messdaten.

Datumsvergleiche

Vergleich des Interviewdatums: In den CAPI-Daten sind ein Anfangs- und ein Enddatum des Interviews angegeben. In zwei Fällen weichen Anfang und Ende voneinander ab. Bei diesen beiden Fällen wurde die Zielperson nicht angetroffen. Es wurde ein Zusatzfragebogen hinterlegt, der noch nachträglich ausgefüllt werden musste. Das Interview wurde bis zum endgültigen Abschluss geparkt. Es liegen folglich keine Fehler vor.

Vergleich des Messdatums: In den CAPI-Daten wie in den Messdaten ist jeweils ein Messdatum angegeben. In einem Fall fehlt diese Angabe in den CAPI-Daten. Ein Vergleich dieser beiden Angaben ergab zusätzliche Abweichungen in neun Fällen. Acht dieser Fälle sind Interviews, bei denen es im CAPI-Programm ein Bug gab. Um diesen Bug zu umgehen und weitere Interviews durchführen zu können, musste das Datum um einen Tag zurückgestellt werden. Anschließend wurden die Datums-Änderungen wieder rückgängig gemacht. Diese nachträgliche Änderung fand bei den Messdaten nicht statt. Der neunte Fall gehört zu der Reihe von Messungen, die aufgrund eines Absturzes beim Messgerät unplausible Datums- und Uhrzeitangaben aufwiesen. Diese wurden nachträglich durch TNS korrigiert (s. Tabelle 5.10.). Da diese Messung mit dem Gerät „008_0306“ durchgeführt wurde, wurde sie am Ende ausgeschlossen (s. Kapitel 5.3.2.3).

Vergleich der Einträge zu Bundesland und Region

In den CAPI-Daten existiert eine Variable zur Region und eine zum Bundesland. Die Einträge wurden einander gegenüber gestellt. Es ergaben sich 12 potentielle Differenzen. Zum Beispiel tauchte in einzelnen Fällen als Pendant zur Region Hamburg nicht das Bundesland Hamburg auf, sondern Niedersachsen oder Schleswig-Holstein. Dies Einträge stellen aber nicht zwingend einen Fehler dar. Deshalb wurde zur weiteren Verifizierung zusätzlich das in dem jeweiligen Fall eingesetzte Messgerät betrachtet. Am Ende blieben drei Fälle übrig, bei denen fehlerhafte Einträge bei der „Region“ vorlagen.

5.3.3.3 Datencleaning

Damit die Daten der Ergänzungserhebung mit denen der Vertiefungserhebung gematcht werden können, musste sicher gestellt werden, dass die Fragen von ein und derselben Person beantwortet wurden. Dafür wurden zusätzlich zur ID die Einträge unter Geschlecht und Geburtsjahr kontrolliert. Außerdem wurden diese Einträge mit den Angaben im Panel verglichen. Dabei stimmten in 59 Fällen die Angaben aller drei Datenpools nicht überein.

Nach einer Überprüfung dieser Fälle durch TNS Healthcare mussten 28 Fälle ausgeschlossen werden (Tabelle 5.11). 31 Fälle konnten dagegen in die Auswertung eingeschlossen werden (Tabelle 5.12).

82 weitere Fälle mussten ausgeschlossen werden, da dort die Messungen mit dem defekten Gerät durchgeführt wurden.

Fazit: Von den 1500 Fälle, bei denen Dosimetriemessungen vorgenommen wurden, konnten letztendlich 1390 mit den Daten der Vertiefungserhebung verbunden werden (93%).

Tabelle 5.11: Ausgeschlossene Fälle auf Grund abweichender Angaben bei Geburtsjahr / Geschlecht

Anzahl	Kommentar
23	Die Fragebögen wurden definitiv von unterschiedlichen Personen beantwortet. Dabei handelt es sich um 10 Fälle, in denen sowohl das Geschlecht als auch das Geburtsjahr nicht zusammenpassten sowie um 13 Personen, die zwar im Panel verzeichnet sind, aber nicht die Zielperson
5	Größere Abweichungen beim Geburtsjahr, Tippfehler unwahrscheinlich

Tabelle 5.12: In die Auswertung eingeschlossene Fälle

Anzahl	Kommentar
1	Fehlerhafte Angabe beim Geburtsjahr im CAPI wurde (entsprechend dem Eintrag unter „Besondere Vorkommnisse“) korrigiert
4	Angaben der Vertiefungserhebung und der CAPI-Daten stimmen überein, Differenzen ergeben sich lediglich zu den Angaben im Panel
9	Abweichungen konnten aufgeklärt werden (schwer leserliche Angaben oder einmal doppelte Angabe beim Geschlecht)
7	Geringe Abweichungen (1 Jahr) beim Geburtsjahr oder 1x Abweichung beim Geschlecht
10	Wahrscheinlich Tippfehler in den CAPI- Daten, 1x Zahlendreher

5.3.4 Messinstrumente

Ziel der Vertiefungserhebung war es, einen möglichen Zusammenhang zwischen HF-EMF und den von Studienteilnehmern berichteten Beschwerden zu ermitteln. In der Vertiefungserhebung wurden zusätzlich verschiedene standardisierte psychometrische Testverfahren eingesetzt, die sich in klinischen Studien bewährt haben und die vielfach in der Psychosomatik als Instrumente zur differentialdiagnostischen Abklärung von Beschwerden verwendet werden. Hierbei wurde vor allem darauf geachtet, leicht und schnell ausfüllbare robuste Fragebogeninstrumente einzusetzen. Daneben wurde darauf geachtet, solche Instrumente zu verwenden, die bereits in der Literatur zu Beschwerden bei Hochfrequenzexposition eingesetzt wurden, um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen.

Mittels dieser, vom Probanden selbst auszufüllenden Testbatterie ist es möglich, die Schlafqualität, Ausmaß und Auswirkungen von Kopfschmerzen, die aktuelle Befindlichkeit und den allgemeinen Gesundheitszustand in den Bereichen der körperlichen und psychischen Gesundheit zu erfassen. Um diesen Beschwerden eventuell zugrunde liegende psychische Störungen zu identifizieren, wurden auch das Vorliegen von chronischem Stress und die Depressivität und Ängstlichkeit erfragt. Auf die Erfassung kognitiver Störungen mittels Fragebögen wurde verzichtet, da hierfür standardisierte Testbedingungen vorliegen sollten, die im Rahmen dieser Studie nicht realisiert werden können.

Kurze Beschreibung zu den Fragebögen im Einzelnen:

Beschwerden bezüglich des Schlafs werden mit dem *Pittsburgh Schlafqualitäts Index (PSQI)* erfragt, einem einfachen und effektiven Instrument zur Erfassung der subjektiven Schlafqualität bei Erwachsenen (ab 20. Lebensjahr). Es umfasst 18 Items, die in 7 Komponenten unterteilt sind. Für einen Zeitraum von 2 Wochen erfragt es retrospektiv die Häufigkeit störender Schlafereignisse, die Einschätzung der Schlafqualität, die gewöhnlichen Schlafzeiten, die Einschlafzeit und die Schlafdauer, die Einnahme von Schlafmedikation sowie die Tagesmüdigkeit. Das Instrument erlaubt mit Hilfe eines Cut-off Wertes eine gute Einteilung der Teilnehmer in "gute" und "schlechte" Schläfer. Die Stabilität des Tests ist in 3 Studien überprüft worden. Sie liegt bei Werten zwischen 0,82 – 0,89 und ist damit für den Gesamtscore zufriedenstellend. Bezüglich der Validität werden für die Sensitivität und Spezifität Werte von über 80% für den Gesamtscore angegeben (Buysse et al 1989).

Der *Headache Impact Test (HIT-6; deutsche Version)* ist ein Instrument, das die Auswirkung von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben und die Einsatzfähigkeit, z.B. im Beruf, misst. Er wurde von einem internationalen Team von Kopfschmerzexperten aus der Neurologie und der Allgemeinmedizin in Zusammenarbeit mit Psychometrikern entwickelt. Er besteht aus 6 Items, die auf einer 5-stufigen Skala eingeschätzt werden sollen und dauert 1-2 Minuten. (HIT-6 Scoring Interpretation Germany, 2001).

Zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit wurde die *Beschwerdenliste (BL) von v. Zerssen* eingesetzt. Die Beschwerdenliste erfasst das Ausmaß momentaner Beeinträchtigung subjektiven Befindens, indem das körperliche Beschwerdebild mittels 24 Items erfragt wird. Der Fragebogen wurde für Personen im Alter von 20-64 Jahren validiert, wird jedoch im Rahmen dieser Untersuchung auch für Teilnehmer in einem höheren oder niedrigeren Alter eingesetzt. Die mittlere Dauer des Ausfüllens beträgt ca. 2 Minuten. Der Test ist geeignet für diagnostische und therapeutische Untersuchungen und Studienzwecke. Die kriterienbezogene Validität liegt für die Korrelation mit der klinischen Einschätzung der Depressivität bei $r = 0,85$. Referenzwerte liegen für spezifische psychiatrische Krankheitsbilder vor, so dass damit Vergleiche möglich sind. (von Zerssen 1975, 2005).

Der allgemeine Gesundheitszustand wird mit dem *SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36)* erfasst. Der Einsatzbereich ist die klinische und epidemiologische Forschung für Personen über 14 Jahren. Der Fragebogen ist ein krankheitsübergreifendes Messinstrument zur Erfassung der gesundheitlichen Lebensqualität. Der SF-36 erfasst 8 Dimensionen, die sich in die Bereiche körperliche und psychische Gesundheit einordnen lassen und dabei körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, körperliche Rollenfunktion, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion, und psychisches Wohlbefinden messen. Vergleichstichproben liegen getrennt für Geschlecht, für verschiedene Alters- und Patientengruppen vor. Die Bearbeitungsdauer beträgt ca. 10 Minuten. Cronbach's Alpha liegt in der Normstichprobe für die einzelnen Subskalen im Bereich von 0,74 bis 0,94 (Bullinger und Kirchberger 1998).

Das *Trierer Inventar zum chronischen Stress (TICS)* ist ein standardisierter Fragebogen mit 57 Items zur Feststellung von verschiedenen chronischen Stresssituationen der vergangenen 3 Monate in Freizeit und Beruf. Eine kürzere und in dieser Studie herangezogene Screening Version umfasst 12 Items und liefert ein Globalmaß für erlebten Stress. Der Fragebogen ist gültig für Männer und Frauen zwischen 16 und 70 Jahren und lässt sich in ca. 3 Minuten ausfüllen (Screening Version; Vollversion 10-15 Minuten). Für die Zuverlässigkeit liegen Angaben zur internen Konsistenz (Cronbachs Alpha) der Skalen von $\alpha = 0,87$ und für die Rasch-Reliabilität von 0,72 vor (Schulz und Scholz, 2002, Schulz et al. 2005).

Hospital Anxiety and Depression Scale – Deutsche Version (HADS-D). Dieses Fragebogeninstrument dient zur Selbstbeurteilung von Angst und Depressivität bei Erwachsenen mit körperlichen Beschwerden bzw. Erkrankungen. Er ist geeignet als Screeninginstrument bei der Differentialdiagnostik funktioneller sowie reaktiver Störungen. Es umfasst 14 Items. Die Testergebnisse können mit verschiedenen deutschen Normgruppen von gesunden und kranken Personen verglichen werden. Die Durchführungszeit wird mit ca. zwei bis fünf Minuten angegeben. Für die Zuverlässigkeit

beträgt Cronbachs Alpha in der deutschen Eichstichprobe für die Angst-Subskalen $\alpha = 0,80$ und für die Depressions-Subskalen $\alpha = 0,81$ (Hermann et al. 2005).

5.3.5 Statistische Auswertung

Ein möglicher Einfluss von Mobilfunksendeanlagen auf Beschwerden (v. Zerssen, HIT-6, PSQI) und den körperlichen und psychischen Gesundheitszustand (SF-36) kann auf die HF-EMF-Exposition zurückzuführen sein, aber auch darauf, dass Menschen sich wegen der von Sendeanlagen emittierten hochfrequenten elektromagnetischen Felder Sorgen machen oder gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Sendeanlagen attribuieren. Daraus ergeben sich die bereits erwähnten zentralen Fragestellungen:

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Exposition durch die von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF und berichteten Beschwerden? (**Fragestellung 1**)
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Besorgnis wegen der von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF und der Attribution von Beeinträchtigungen auf diese Felder einerseits und berichteten Beschwerden andererseits? (**Fragestellung 2**)
- Es soll geprüft werden, ob es eine Interaktion zwischen der unter Fragestellung 1 genannten Exposition und den unter Fragestellung 2 genannten Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen gibt. (**Fragestellung 3**)

5.3.5.1 Angaben zur Studienbevölkerung

3.526 Probanden haben den Vertiefungsfragebogen ausgefüllt. Von diesen Befragten konnten bei insgesamt 1.500 Personen vor Ort Besuche zur Durchführung eines CAPI (computer assisted personal interview) und von Dosimetermessungen gemacht werden.

Für die Bearbeitung der oben genannten Fragestellungen werden zwei Gruppen von Probanden nicht in die statistische Auswertung einbezogen: Herausgelassen werden zum einen 110 Personen, bei denen mit einem defekten Dosimeter gemessen wurde oder bei denen Probleme bei der eindeutigen Zuordnung von Mess- und Befragungsdaten auftraten. Zum anderen werden 64 Personen herausgelassen, da bei ihnen bei einzelnen Ziel- oder Störvariablen fehlende Werte auftreten. Auf diese Weise werden sämtliche Analysen mit einem identischen Datensatz durchgeführt.

Zusätzlich wird deskriptiv dargestellt, inwiefern sich die Probanden, die in die Auswertung gelangen (=Studienpopulation der Ergänzungsstudie), von der Gruppe aller Teilnehmer an der Vertiefungserhebung (=Studienpopulation der Vertiefungserhebung) unterscheiden. Dazu werden für beide Studienpopulationen alle Ziel- und Störvariablen getrennt und zusätzlich nach dem Geschlecht stratifiziert dargestellt.

5.3.5.2 Zielvariablen

Als Zielvariablen werden die nachstehend genannten selbst berichteten Beschwerden und Einschätzungen des Gesundheitszustands herangezogen, die genauer unter Punkt 5.3.4 „Messinstrumente“ dargestellt werden.

- Kopfschmerzen nach HIT-6
- Schlafqualität nach PSQI
- Beschwerden nach der Beschwerdenliste von v. Zerssen
- körperliche Gesundheit nach dem SF-36
- psychische Gesundheit nach dem SF-36

Die Berechnung der Scores dieser Zielvariablen sowie der Umgang mit fehlenden Werten richtet sich nach den Angaben in den zugehörigen Manualen.

5.3.5.3 Einflussvariablen

Exposition gegenüber den HF-EMF der Mobilfunkseanlagen

Für jeden Probanden werden auf 12 Frequenzbereichen jeweils maximal 75 Messwerte in einem 5-Minuten-Intervall auf 4 Messpositionen erhoben (Kapitel 5.3.3). Für die vier Messpositionen werden die Werte zusammengefasst, es werden also für die einzelnen Messpositionen keine separaten Auswertungen vorgenommen. Für jede Messposition werden die ersten fünf Messwerte weggelassen – damit werden die ersten 20 Sekunden, in denen der Interviewer den Raum verlässt, nicht berücksichtigt. Eine Messreihe wird nur dann in die Auswertung aufgenommen, wenn mindestens 60 der maximal 75 Messwerte verbleiben.

Ferner werden nur die drei Frequenzbereiche derjenigen HF-EMF berücksichtigt, die von Mobilfunkseanlagen emittiert werden. Die drei relevanten Frequenzbereiche – GSM900 (downlink), GSM1800 (downlink) und UMTS (downlink) – werden zusammengefasst.

Die dichotome Expositionsvariable gegenüber den HF-EMF von Mobilfunkseanlagen wird wie folgt ermittelt:

- Für jeden einzelnen Probanden wird zunächst für jeden Messzeitpunkt ein Total-field-Wert für die drei relevanten Frequenzbereiche bestimmt:

Total-field-Wert = Wurzel aus der Summe der Quadrate der drei Feldstärken

Bei der Ermittlung der Total-field-Werte werden Feldstärken der einzelnen Frequenzbereiche von 0,05 V / m gleich 0 gesetzt (die technische Sensitivitätsgrenze des Dosimeters liegt bei 0,05 V / m); als kleinst möglicher Total-field-Wert wird 0,05 V / m angegeben. Dieses Vorgehen wurde im Handbuch des Dosimeters so beschrieben.

- Für jeden Probanden wird für alle max. 4 * (75 -5) Total-field-Werte das arithmetische Mittel gebildet.
- Die Probanden, deren arithmetischer Mittelwert sich im obersten Dezantil der arithmetischen Mittelwerte aller Probanden befindet, werden als exponiert betrachtet, alle übrigen Probanden als nicht exponiert.

Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen

Aus den erfragten Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen (Besorgnis und Attribution) werden für die multiple lineare Regression zwei Dummy-Variablen und eine Referenz gebildet:

Attribution:

= ja, falls der Proband sich durch die von Mobilfunkseanlagen emittierten HF-EMF für gesundheitlich beeinträchtigt hält – unabhängig davon, ob er auch besorgt ist oder nicht.

Besorgnis:

= ja, falls der Proband sich wegen der von Mobilfunkseanlagen emittierten HF-EMF Sorgen macht, aber gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auf die HF-EMF der Sendeanlagen attribuiert.

Keine Bedenken (Referenz):

= nein, es liegen keine Bedenken vor. Damit ist gemeint, dass weder eine Attribution noch Besorgnis vorhanden ist. Hier werden auch die Personen eingeordnet, die keine Angabe machen.

5.3.5.4 Confounder

Als Störvariablen werden das Geschlecht, das Alter, die Wohnumgebung, die Schulbildung, chronischer Stress, Ängstlichkeit, Depressivität und Mobiltelefonnutzung einbezogen. Die Variablen werden wie folgt berechnet bzw. kategorisiert:

<i>Geschlecht</i>	1=Frauen 0=Männer
<i>Alter:</i>	5 Dummy-Variablen: Alter = 14 – 19 Jahre Alter = 20 – 29 Jahre (Referenz) Alter = 30 – 39 Jahre Alter = 40 – 49 Jahre Alter = 50 – 59 Jahre Alter = über 60 Jahre
<i>Charakterisierung der Wohnumgebung (aus der Basiserhebung)</i>	2 Dummy-Variablen: Vorstadt Stadt Ländlich (Referenz)
<i>Schulbildung</i>	3 Dummy-Variablen: Volks- / Hauptschulabschluss Realschule, Abschlussziel Haupt- / Realschule Abschlussziel offen, ohne Abschluss die Schule verlassen, anderer Schulabschluss, keine Angabe Fachhochschulreife, Abitur, Abschlussziel Hochschulreife (Referenz)
<i>Mobiltelefonnutzung</i>	1 = „2 – 6 mal pro Woche“ oder häufiger 0 = „Seltener“ oder „nie“, keine Angabe (Referenz)
<i>Chronischer Stress</i>	Zur Messung von chronischem Stress wird die Kurzform des TICS (SSCS: Screening Scale for Chronic Stress) eingesetzt, die aus 12 Items besteht. Der Stress-Score wird nach Schulz, Schlotz und Becker (2003) berechnet, sofern mindestens 9 Items beantwortet sind: Für fehlende Items wird dann der Mittelwert der beantworteten Items eingesetzt.
<i>Ängstlichkeit und Depressivität nach der HADS-Skala</i>	Die Subskalen für Ängstlichkeit und Depressivität bestehen aus jeweils 7 Items. Die zugehörigen Subscores werden nach Herrmann, Buss und Snaith (1995, Anhang S. II) berechnet, sofern 6 der 7 Items beantwortet werden. Der fehlende Wert wird durch den Mittelwert der beantworteten Items ersetzt.

5.3.5.5 Auswertungsplan

Übersichtstabellen

Für einen ersten Überblick werden die Mediane der einzelnen Zielvariablen (HIT-Score, PSQI-Score, Beschwerdenliste von v. Zerssen, SF-36) stratifiziert nach der Exposition sowie nach den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen dargestellt.

Multiple lineare Regressionen

Es werden multiple lineare Regressionen durchgeführt. In die multiple Modellgleichung gehen die folgenden Variablen ein:

Zielvariablen:	Score der einzelnen Zielvariablen <ul style="list-style-type: none">• HIT-Score,• PSQI-Score,• Beschwerdenliste von v. Zerssen,• SF-36 (körperlich und psychisch)
Einflussvariablen:	Exposition (dichotom) Besorgnis/Attribution (2 Dummies)
Confounder:	Geschlecht (dichotom) Alter (5 Dummies) Wohnumgebung (2 Dummies) Schulbildung (3 Dummies) Mobiltelefonnutzung (dichotom) Stress-Score (stetig) HADS-A-Score (stetig) HADS-D-Score (stetig)
Interaktionsterme:	Exposition * Besorgnis Exposition * Attribution

Interaktionsterme: Es wurde vermutet, dass ein möglicher Einfluss von HF-EMF auf Befindlichkeiten und den körperlichen und psychischen Gesundheitszustand überproportional stärker ausfallen könnte, wenn sich der Proband wegen der Mobilfunksendeanlagen Sorgen macht bzw. gesundheitliche Beeinträchtigungen auf die Felder von Mobilfunksendeanlagen zurückführt. Daher werden diese Interaktionen auf dem 5%-Niveau auf Signifikanz getestet; zusätzlich wird geprüft, ob sich der Wert für das adjustierte R^2 verbessert, wenn die Interaktionsterme in die Modelle aufgenommen werden. Entscheidend für den Verbleib im Modell ist der p-Wert der einzelnen Signifikanzterme.

Wenn die Interaktionsterme auf dem 5%-Niveau nicht signifikant sind und sich das adjustierte R^2 durch die Berücksichtigung der Interaktionsterme nicht verbessert, werden die Analysen ohne Interaktionsterme wiederholt. Die Confounder werden dagegen auch in der Analyse belassen, wenn sie nicht signifikant sind. Darüber hinaus werden die Ergebnisse reduzierter Modelle dargestellt, in denen nur für Alter und Geschlecht adjustiert wurde.

Mit diesem Vorgehen ist es möglich, mit einem einzigen statistischen Modell alle drei Fragestellungen zu beantworten, wobei die Berücksichtigung der Interaktionsterme die Beantwortung der Fra-

gestellung 3 darstellt. Falls keine Interaktionen vorliegen, werden die Fragestellungen 1 und 2 in einem gemeinsamen Modell gleichzeitig beantwortet.

Um herauszufinden, durch welche Variablen die Varianz der Zielgrößen maßgeblich aufgeklärt wird, sollen – am Beispiel des PSQI-Scores als Zielvariable – die multiplen linearen Regressionen auch mit reduzierten Modellen durchgeführt werden: Dazu werden aus dem vollständigen Modell einzelne Störvariablen herausgelassen, und es wird geprüft, wie sich das adjustierte R^2 ändert.

Ergänzende Analysen

Berücksichtigung der Exposition gegenüber den gesamten HF-EMF

In einem weiteren Schritt wird die gesamte HF-Exposition, die durch die Dosimeter erfasst wird, in Analysen berücksichtigt. Dazu werden im Unterschied zur unter 5.3.5.3 beschriebenen Vorgehensweise nicht nur die drei für Sendeanlagen relevanten, sondern weitere sechs Frequenzbereiche der messtechnischen Erfassungen berücksichtigt. Dabei werden jedoch die uplink-Mobiltelefonfrequenzen (Handy) nicht berücksichtigt. Bei der Auswertung der gesamten HF-EMF-Exposition geht es in erster Linie darum, die kontinuierlich vorhandene Exposition der HF-EMF zu messen. Bei den HF-EMF, die von den Mobiltelefonen ausgehen, handelte es sich um eine extrem hohe, allerdings nur kurzfristige und seltene Exposition, die bei der Berechnung der gesamten Hintergrundexposition der HF-EMF nicht relevant ist. Zu den berücksichtigten Frequenzen zählen: Mobilfunk (drei Frequenzbereiche), Radio und Fernsehen (drei Frequenzbereiche), DECT-Telefon (ein Frequenzbereich), w-lan (ein Frequenzbereich) und Tetra (ein Frequenzbereich). Berechnung und Bildung der Expositionsvariable erfolgt analog zur Vorgehensweise bei nur drei Frequenzbereichen. Die Auswertungen erfolgen ebenfalls analog.

Schlafstörungen und Kopfschmerzen unmittelbar vor der Messung

Im Kurzfragebogen wird auf sechs- bzw. fünfstufigen Ratingskalen erhoben, ob die Probanden in der Nacht vor der Messung Schlafprobleme hatten und ob sie am Tag der Messung Kopfschmerzen hatten. Aus den Antworten auf diese beiden Fragen werden zwei dichotome Zielvariablen gebildet. Als Auswertungsmodell wird im Gegensatz zu den vorherigen Modellen die multiple logistische Regression gewählt, da es sich hierbei um eine einfache Frage und nicht um einen Score handelt. Die Einfluss- und Störvariablen sind dieselben wie in den multiplen linearen Regressionen mit dem PSQI- bzw. HIT-Score als Zielvariablen.

5.4 Ergebnisse

5.4.1 Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung

3526 Teilnehmer haben an der Vertiefungserhebung teilgenommen und einen Fragebogen zu Schlafstörungen (PSQI), Kopfschmerzen (HIT), Beschwerden (BL) und körperlichem und psychischem Gesundheitszustand (SF-36) ausgefüllt. Die Angaben aus dem Fragebogen der Vertiefungserhebung werden dazu genutzt, einen möglichen Selection bias für die Teilnehmer der Ergänzungsstudie zu untersuchen. Bei 1500 Teilnehmern der Vertiefungserhebung wurden zusätzlich messtechnische Erfassungen durchgeführt. 174 dieser 1500 Probanden werden für die weitere Analyse ausgeschlossen: Davon 110 aus Gründen, die bereits in Kap. 5.3.3 erläutert wurden; die übrigen 64 Probanden werden ausgeschlossen, weil bei Ihnen bei mindestens einer Ziel- oder Störvariablen fehlende Werte auftreten. Damit ist sichergestellt, dass allen Analysen ein identischer Datensatz vom Umfang $N=1326$ zugrunde liegt.

Tabelle 5.13: Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung hinsichtlich kategorialer Variablen (demographische Angaben, Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und Handynutzung)

Variable	Prozentsatz in der Studienpopulation der Ergänzungsstudie (N=1326)			Prozentsatz in der Studienpopulation der Vertiefungserhebung (N=3526)		
	Männer (N=653)	Frauen (N=673)	Gesamt (N=1326)	Männer (N=1573)	Frauen (N=1953)	Gesamt (N=3526)
Geschlecht						
Männlich			49,2%			44,6%
Weiblich			50,8%			55,4%
Alter						
15 – 19 Jahre	2,8%	3,0%	2,9%	5,4%	4,5%	4,9%
20 – 29 Jahre	7,8%	11,9%	9,9%	8,8%	13,0%	11,2%
30 – 39 Jahre	21,6%	23,3%	22,5%	19,5%	22,0%	20,9%
40 – 49 Jahre	17,8%	16,9%	17,3%	17,6%	16,4%	16,9%
50 – 59 Jahre	18,8%	21,0%	19,9%	19,9%	19,7%	19,8%
60 – 71 Jahre	31,2%	23,9%	27,5%	28,7%	24,5%	26,4%
Schulbildung						
Volks- / Hauptschulabschluss	20,4%	19,6%	20,0%	23,1%	22,6%	22,8%
Realschulabschluss / Abschlussziel Volks-/Hauptschule	27,4%	35,5%	31,5%	27,0%	34,9%	31,4%
Fachhochschulreife / Abitur / Abschlussziel Hochschulreife	49,0%	41,3%	45,1%	44,8%	38,3%	41,2%
Abschlussziel offen / anderer Abschluss / ohne Abschluss / k. A.	3,2%	3,6%	3,4%	5,0%	4,3%	4,6%
Wohnumgebung						
Ländlich	14,1%	14,0%	14,0%	12,8%	14,0%	13,5%
Vorstädtisch	33,4%	38,2%	35,8%	33,6%	37,9%	36,0%
Städtisch	52,5%	47,9%	50,2%	52,8%	47,7%	50,0%
k. A.	-	-	-	0,8%	0,4%	0,6%
Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen						

Attribution von Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen	9,7%	8,0%	8,8%	8,1%	7,0%	7,5%
Besorgnis (dichotom)	23,4%	30,6%	27,1%	17,9%	21,7%	20,0%
Keine Bedenken	66,9%	61,4%	64,1%	74,0%	71,3 %	72,5%
Handynutzung						
2-6 mal pro Woche oder häufiger	59,7%	51,6%	55,6%	60,8%	48,5%	54,0%
Seltener / nie / k.A.	40,3%	48,4%	44,4%	39,2%	51,5%	46,0%

Tabelle 5.14: Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung hinsichtlich der Besorgnis wegen der EMF von Mobilfunksendeanlagen (vierstufiges Antwortformat)

	Prozentsatz in der Studienpopulation der Ergänzungsstudie (N=1326)			Prozentsatz in der Studienpopulation der Vertiefungserhebung (N=3526)		
	Männer (N=653)	Frauen (N=673)	Gesamt (N=1326)	Männer (N=1573)	Frauen (N=1953)	Gesamt (N=3526)
Besorgnis						
Starke Sorgen	5,2%	8,9%	7,1%	4,5%	6,0%	5,4%
Ziemliche Sorgen	16,5%	18,9%	17,7%	13,5%	15,5%	14,6%
Wenig Sorgen	43,8%	43,2%	43,5%	42,8%	42,6%	42,7%
Gar keine Sorgen / trifft nicht zu	34,0%	28,7%	31,3%	38,2%	34,9%	36,4%
k.A.	0,5%	0,3%	0,4%	1,0%	1,0%	1,0%

Tabelle 5.15: Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung hinsichtlich stetiger Variablen

	Studienpopulation der Ergänzungsstudie (N=1326)				Studienpopulation der Vertiefungserhebung (N=3526)				
	Median	1.Quartil	3.Quartil	Min/Max	Median	1.Quartil	3.Quartil	Min/Max	Fehlende Werte
Stress									
Alle	10	5	17	0; 46	10	4	17	0; 48	19
Männer	9	4	15	0; 42	8	3	15	0; 43	9
Frauen	12	6	20	0; 46	11	5	18	0; 48	10
HADS-A-Score									
Alle	4	2	7	0; 20	4	2	7	0; 20	26
Männer	4	2	6	0; 19,83	3	2	6	0; 20	11
Frauen	5	2	8	0; 20	5	2	7	0; 20	15
HADS-D-Score									
Alle	3	1	6	0; 20	3	1	6	0; 20	30
Männer	3	1	6	0; 19	3	1	6	0; 19	14
Frauen	3	1	7	0; 20	3	1	6	0; 20	16
PSQI (Schlafstörungen)									
Alle	4,83	3	7	0; 20	4	3	7	0; 20	42
Männer	4	3	6	0; 17	4	2	6	0; 20	20
Frauen	5	3	8	0; 20	5	3	8	0; 20	22
HIT (Kopfschmerzen)									
Alle	44	40	52	36; 76	44	40	52	36; 78	33
Männer	42	38	50	36; 70	42	38	50	36; 72	15
Frauen	46	40	54	36; 76	46	40	54	36; 78	18
BL (Beschwerdenliste)									
Alle	14,5	8	24	0; 65	14	7	23	0; 65	21
Männer	12	6	21	0; 65	12	6	21	0; 65	10
Frauen	16	9	27	0; 61	16	9	26	0; 61	11
SF-36: Körperliche Summenskala									
Alle	52,46	44,32	56,49	10,28; 69,11	52,52	45,03	56,71	8,92; 69,11	83
Männer	53,17	45,48	56,51	11,61; 69,11	53,42	46,17	56,71	11,61; 69,11	35
Frauen	51,80	43,19	56,40	10,28; 66,23	51,98	44,16	56,70	8,92; 67,30	48
SF-36: Psychische Summenskala									
Alle	52,43	44,98	56,32	14,14; 70,00	52,58	45,09	56,57	5,96; 70,20	83
Männer	53,43	47,93	56,67	14,58; 67,30	53,55	47,72	56,88	12,34; 70,20	35
Frauen	51,42	41,19	55,74	14,14; 70,00	51,68	42,49	56,14	5,96; 70,00	48

Der in den Tabelle 5.13 und Tabelle 5.14 dargestellte Vergleich der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit der Studienpopulation der Vertiefungserhebung zeigt,

- dass der Männeranteil in der Ergänzungsstudie um fast 5 Prozentpunkte höher ist als in der Vertiefungserhebung,
- dass in der Ergänzungsstudie die mittleren und älteren Jahrgänge leicht stärker vertreten sind als in der Vertiefungserhebung,
- dass in der Ergänzungsstudie der Anteil der Probanden mit höherer Schulbildung (Abitur, Fachhochschulreife oder ein entsprechendes Abschlussziel) um etwa 4 Prozentpunkte höher liegt als in der Vertiefungserhebung,
- und dass es zwischen beiden Gruppen kaum Unterschiede hinsichtlich der Wohnumgebung gibt.
- Der Prozentsatz derer, die sich wegen der von Mobilfunksendeanlagen ausgehenden elektromagnetischen Felder gesundheitlich beeinträchtigt fühlen, liegt in der Ergänzungsstudie etwas höher als in der Vertiefungserhebung. Der Anteil derer, die sich wegen dieser Felder Sorgen machen, liegt in der Ergänzungsstudie um mehr als 7 % höher als in der Vertiefungserhebung.
- Wenn die Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen nicht mit einem dichotomen Antwortformat, sondern mit einer 4-stufigen Ratingskala erfragt wird, ergibt sich wiederum, dass der Anteil der Besorgten in der Ergänzungsstudie höher liegt als in der Vertiefungserhebung: Der Anteil der ziemlich oder stark Besorgten liegt in der Ergänzungsstudie bei 24,8%, in der Vertiefungserhebung bei 20,0% (vgl. Tabelle 5.14).
- Bei den verschiedenen psychologischen Skalen zeigen sich keine relevanten Unterschiede zwischen den beiden Studienpopulationen.

In einem weiteren Schritt wurden die relevanten Beschwerden (Schlafstörungen, die aktuelle Befindlichkeit und der allgemeine Gesundheitszustand in den Bereichen der körperlichen und psychischen Gesundheit) in der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit verschiedenen Normstichproben und, wenn möglich, mit der deutschen Gesamtbevölkerung verglichen. Es zeigt sich, dass die Scores der relevanten Beschwerden in der Studienpopulation der Ergänzungsstudie gerade in Bezug auf zeitnah untersuchte Vergleichsbevölkerungen sehr ähnlich sind. Einschränkend muss dabei festgehalten werden, dass zum Ausmaß und zu Auswirkungen von Kopfschmerzen keine Angaben für eine Vergleichsbevölkerung für den zugehörigen Fragebogen (HIT) vorliegen.

- In der Studienpopulation der Ergänzungsstudie liegt der Mittelwert des Scores der Beschwerdenliste bei 16,8, im Bundesgesundheitsurvey wurde 1998 für eine repräsentative Stichprobe in Westdeutschland ein Mittelwert von 17,1, in Ostdeutschland von 15,6 gefunden (Jacobi et al. 2004).
- In der Studienpopulation der Ergänzungsstudie liegt der mittlere Score für die körperliche Summenskala des SF-36 mit einem Wert von 49,1 etwa einen Punkt niedriger als der mittlere Score von 50,2, der 1994 für eine deutsche Normstichprobe (N=2773) ermittelt wurde (Bullinger & Kirchberger 1998). Hingegen ist der in der Ergänzungsstudie gefundene Wert fast identisch mit dem im Bundesgesundheitsurvey 1998 ermittelten mittleren Score von 49,5 (Jacobi et al. 2004).
- Bei der psychischen Summenskala des SF-36 liegt der mittlere Score in der Studienpopulation der Ergänzungsstudie mit einem Wert von 49,4 etwa zwei Punkte niedriger als der sowohl in der deutschen Normstichprobe von 1994 als auch im Bundesgesundheitsurvey 1998 ermittelte Wert von 51,5 (Bullinger & Kirchberger 1998; Jacobi et al. 2004).

- Bezeichnet man Probanden mit einem PSQI-Score von über 5 als schlechte Schläfer, so liegt der Anteil schlechter Schläfer in der Studienpopulation mit 37,5 % um 5 % höher als in einer im Jahr 2000 in Österreich untersuchten repräsentativen Stichprobe mit 1049 Probanden (Zeitlhofer et al. 2000).

5.4.2 Auswertungen mit der Exposition gegenüber den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkseanlagen als Einflussvariable

Verteilung der Exposition der HF-EMF der Mobilfunkseanlagen

In Kapitel 5.3.5.3 wurde erläutert, wie für die Probanden der Studienpopulation ein Maß für die Exposition gegenüber den von den Mobilfunkseanlagen emittierten HF-EMF berechnet wird. Bei den hier dargestellten Ergebnissen handelt es sich um das pro Proband berechnete arithmetische Mittel aus den einzelnen pro Messzeitpunkt ermittelten „Total-field-Werten“. Dieses arithmetische Mittel wird im Folgenden als „mittlerer Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunkseanlagen“ bezeichnet. Für jeden Probanden liegt somit ein solcher mittlerer Total-field-Wert vor.

Tabelle 5.16: Mittelwert, Perzentile und höchster Wert der mittleren Total-field-Werte für die HF-EMF der Mobilfunkseanlagen

	Gesamte Studienpopulation der Ergänzungsstudie (N=1326)	Nur Männer (N=653)	Nur Frauen (N=673)	Wohnung=Stadt (N=665)	Wohnung=Vorstadt (N=475)	Wohnung=Land (N=186)
Mittelwert	0,0699 V/m	0,0713 V/m	0,0687 V/m	0,0721 V/m	0,0702 V/m	0,0616 V/m
Median	0,05 V/m	0,05 V/m	0,05 V/m	0,05 V/m	0,05 V/m	0,05 V/m
90. Perzentil	0,0993 V/m	0,1212 V/m	0,0833 V/m	0,1141 V/m	0,0973 V/m	0,0636 V/m
95. Perzentil	0,1704 V/m	0,1821 V/m	0,1487 V/m	0,1718 V/m	0,1647 V/m	0,1069 V/m
99. Perzentil	0,3440 V/m	0,3407 V/m	0,4506 V/m	0,3407 V/m	0,4012 V/m	0,2836 V/m
Höchster Wert	1,0981 V/m	0,8128 V/m	1,0981 V/m	1,0981 V/m	0,7379 V/m	0,5448 V/m

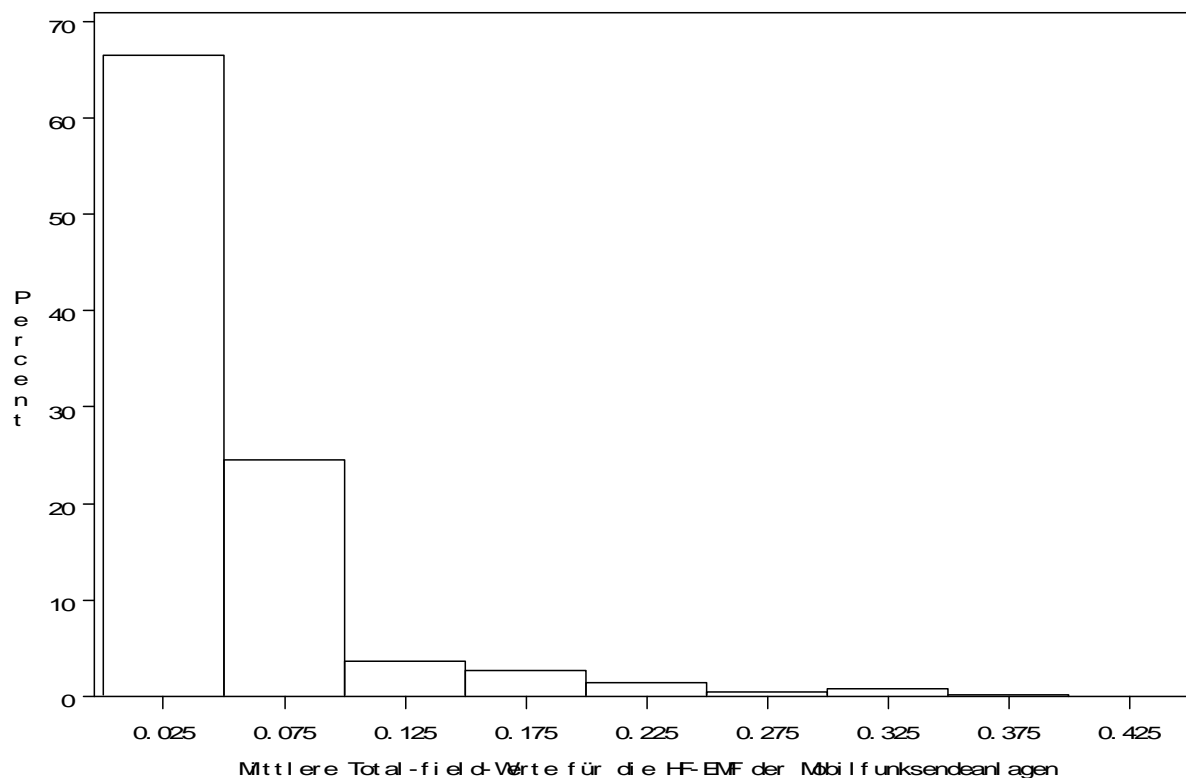


Abbildung 5.27: Histogramm der mittleren Total-field-Werte für die HF-EMF der Mobilfunkanlagen für die Studienpopulation der Ergänzungsstudie

Bei zwei Dritteln der Probanden nimmt der mittlere Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunkanlagen einen Wert von 0,05 V/m an. Dies entspricht der Sensitivitätsgrenze der verwendeten Dosimeter. Unter der konservativen Annahme, dass dieser Wert bei den Personen, in deren Wohnungen das Messgerät keine Messwerte aufzeichnete, nicht überschritten wurde, wurden die Werte für diese Personen auf 0,05 V/m gesetzt. Das 90. Perzentil des mittleren Total-field-Werts, das gemäß der Auswertungsstrategie in Kapitel 6 für die Dichotomisierung der Expositionsvariablen herangezogen werden soll, liegt bei 0,0993 V/m. Im Folgenden wird jedoch der Wert 0,1 V/m als Cutpoint verwendet, was lediglich für einen einzigen Probanden eine andere Kategorisierung mit sich bringt. Der höchste mittlere Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunkanlagen beträgt 1,0981 V/m, und er liegt damit weit unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte. Im zugehörigen Histogramm (Abbildung 5.27) werden nur Total-field-Wert bis 0,40 V/m aufgenommen, insgesamt zwölf der 1326 Haushalte, die höhere Expositionen haben, werden in der Darstellung nicht berücksichtigt.

Bei einem Geschlechtervergleich zeigen sich keine konsistenten Unterschiede zwischen den auf dem Bett gemessenen Expositionen bei Männern und Frauen (vgl. Tabelle 5.16). Der Vergleich der Messungen zwischen ländlicher, vorstädtischer und städtischer Wohnumgebung verdeutlicht, dass höhere Total-field-Werte für die HF-EMF der Mobilfunkanlagen in dicht besiedelten Gebieten zu finden ist (vgl. Tabelle 5.16). Allerdings sollte hier einschränkend erwähnt werden, dass diese Unterschiede auf geringen Fallzahlen basieren.

Deskriptive Ergebnisse

Für eine erste deskriptive Betrachtung werden die Mediane der Scores der fünf Zielvariablen in Abhängigkeit vom Expositionsstatus dargestellt, wobei zusätzlich eine Stratifizierung nach den Ausprägungen der Besorgnis bzw. der Attribution der Beeinträchtigung auf Mobilfunkanlagen als der zweiten Einflussgröße vorgenommen wird (Tabelle 5.17 - Tabelle 5.21). Dabei werden Probanden als exponiert betrachtet, wenn ihr mittlerer Total-field-Wert für die HF-EMF der Mobilfunkanlagen über 0,1 V/m liegt.

Tabelle 5.17: Median des Scores des PSQI (Schlafstörungen)^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunkseanlagen

	Attribution der Beeinträchtigung Median (N)	Besorgnis Median (N)	keine Bedenken Median (N)
Exposition (MFSA*)			
> 0,1 V/m	7,0 (18)	4,0 (31)	4,0 (82)
≤ 0,1 V/m	7,0 (99)	5,0 (328)	4,0 (768)

(* MFSA: Mobilfunkseanlagen)

^aHöhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Schlafstörungen

Tabelle 5.18: Median des Scores des HIT (Kopfschmerzen)^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunkseanlagen

	Attribution der Beeinträchtigung Median (N)	Besorgnis Median (N)	keine Bedenken Median (N)
Exposition (MFSA*)			
> 0,1 V/m	46,0 (18)	44,0 (31)	43,0 (82)
≤ 0,1 V/m	47,0 (99)	45,0 (328)	44,0 (768)

(* MFSA: Mobilfunkseanlagen)

^aHöhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Kopfschmerzen

Tabelle 5.19: Median des Scores der Beschwerdenliste BL^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunkseanlagen

	Attribution der Beeinträchtigung Median (N)	Besorgnis Median (N)	keine Bedenken Median (N)
Exposition (MFSA*)			
> 0,1 V/m	18,0 (18)	18,0 (31)	12,5 (82)
≤ 0,1 V/m	22,0 (99)	14,0 (328)	13,0 (768)

(* MFSA: Mobilfunkseanlagen)

^aHöhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Beschwerden

Tabelle 5.20: Median des Scores der körperlichen Summenskala des SF-36^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen

	Attribution der Beeinträchtigung Median (N)	Besorgnis Median (N)	keine Bedenken Median (N)
Exposition (MFSA*)			
> 0,1 V/m	51,34 (18)	52,30 (31)	52,92 (82)
≤ 0,1 V/m	48,82 (99)	52,97 (328)	52,63 (768)

(* MFSA: Mobilfunksendeanlagen)

^aNiedrige Werte bedeuten eine schlechtere gesundheitliche Lebensqualität

Tabelle 5.21: Median des Scores der psychischen Summenskala des SF-36^a in Abhängigkeit von den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen sowie von der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen

	Attribution der Beeinträchtigung Median (N)	Besorgnis Median (N)	keine Bedenken Median (N)
Exposition (MFSA*)			
> 0,1 V/m	52,02 (18)	52,53 (31)	54,02 (82)
≤ 0,1 V/m	47,35 (99)	52,15 (328)	52,92 (768)

(* MFSA: Mobilfunksendeanlagen)

^aNiedrige Werte bedeuten eine schlechtere gesundheitliche Lebensqualität

Aus den Tabellen (Tabelle 5.17 – Tabelle 5.21) geht hervor, dass Personen mit einer Exposition > 0,1 V/m bei keiner Zielvariablen ein erkennbar höheres Maß an Beschwerden aufweisen als Personen mit einer Exposition ≤ 0,1 V/m. Hingegen findet sich bei Personen, die ihre gesundheitliche Beeinträchtigung auf die Mobilfunksendeanlagen attribuieren, bei allen Zielvariablen ein höheres Maß an gesundheitlichen Beschwerden. Dies gilt für Schlafstörungen, Kopfschmerzen, allgemeine Beschwerden sowie die körperliche und psychische Gesundheit.

Regressionsmodelle

Als Zielgrößen der linearen Regressionsmodelle werden Schlafstörungen (PSQI), Kopfschmerzen (HIT), Beschwerden (BL) und die körperliche sowie psychische Gesundheit (SF-36) modelliert.

In einem vorgeschalteten Schritt werden die beiden Interaktionsterme „Exposition * Besorgnis“ und „Exposition * Attribution der Beeinträchtigung“ in die Modelle aufgenommen (vgl. Tab. 5.7.9). Entsprechend der Auswertungsstrategie verbleiben diese Interaktionsterme nur dann im Modell, wenn sie auf dem 5 %-Niveau signifikant sind.

Tabelle 5.22: p-Werte der Interaktionsterme zwischen „Exposition und Besorgnis“ bzw. zwischen „Exposition und Attribution der Beeinträchtigung auf die EMF von Mobilfunksendeanlagen“ in den multiplen linearen Regressionsanalysen^a mit allen fünf relevanten Zielgrößen

Modell	Zielvariable	p-Wert des Interaktionsterms „Exposition*Besorgnis“	p-Wert des Interaktionsterms „Exposition*Attribution der Beeinträchtigung“	ΔR^2_{adj}
Modell 1	PSQI-Score (Schlafstörungen)	0,77	0,09	0,0008 ^b
Modell 2	HIT-Score (Kopfschmerzen)	0,68	0,68	-0,0008 ^b
Modell 3	BL-Score (Beschwerdenliste)	0,91	0,15	0,0001 ^b
Modell 4	Score der körperlichen Summenskala des SF-36	0,30	0,86	-0,0005 ^b
Modell 5	Score der psychischen Summenskala des SF-36	0,63	0,68	-0,0005 ^b

^aadjustiert für Geschlecht, Altersgruppe, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^bDifferenz von R^2_{adj} des Modells mit allen Störvariablen und den beiden Interaktionstermen und R^2_{adj} des Modells mit allen Störvariablen ohne die beiden Interaktionsterme

Führt man die linearen Regressionen mit diesen Modellen durch, so ergeben sich für die Interaktionsterme in allen Modellen p-Werte über 0,05 (vgl. Tabelle 5.22). Somit kann keine Interaktion signifikant nachgewiesen werden. Dabei findet sich der niedrigste p-Wert ($p=0,09$) in Modell 1 (Zielvariable = PSQI-Score) für die Interaktion zwischen der Exposition gegenüber den HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen und der Attribution der Beeinträchtigung auf die Mobilfunksendeanlagen. Allerdings fällt bei diesem Modell wie auch für die vier anderen Modelle auf, dass die Interaktionsterme nicht zu einer höheren Varianzaufklärung beitragen, da die korrespondierenden Modelle mit und ohne Interaktionsterme nahezu identische Werte für das adjustierte R^2 liefern.

Fazit: Für die in der Auswertungsstrategie genannte „Fragestellung 3“ bedeutet dies, dass Wechselwirkungen zwischen der Exposition und der Besorgnis bzw. der Attribution der Beeinträchtigung nicht nachweisbar waren. Gemäß der Auswertungsstrategie werden die linearen Regressionen ohne die Interaktionsterme wiederholt.

Die multiplen linearen Regressionsanalysen ohne die Interaktionsterme werden in einem ersten Schritt in einem reduzierten Modell dargestellt. Dabei werden beide Einflussvariablen „Exposition (MFSA)“ und „Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen“ sowie als weitere Prädiktoren Alter und Geschlecht berücksichtigt (reduzierte Modelle). In den vollständigen Modellen wird zusätzlich für die möglichen Störgrößen Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score adjustiert. Der in den Tabelle 5.23 bis Tabelle 5.27 vorgenommene Vergleich der reduzierten und der vollständigen Modelle verdeutlicht die Bedeutung der zusätzlichen Confounder, da sich sowohl die Regressionskoeffizienten der Einflussgrößen als auch deren Konfidenzintervalle verändern.

Tabelle 5.23: Multiple lineare Regressionen mit dem PSQI-Score (Schlafstörungen) als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunkseideanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 6	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (MFSA)						
> 0,1 V/m	131	4,95	-0,39	-1,01; 0,22	-0,16	-0,67; 0,35
≤ 0,1 V/m	1195	5,34	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	7,00	1,95	1,30; 2,61	0,96	0,40; 1,51
Besorgnis	359	5,35	0,25	-0,17; 0,67	0,07	-0,28; 0,42
keine Bedenken	850	5,04	ref.		ref.	
R²_{adj.}			0,046		0,336	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Schlafstörungen

Tabelle 5.24: Multiple lineare Regressionen mit dem HIT-Score (Kopfschmerzen) als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 7	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (MFSA)						
> 0,1 V/m	131	44,94	-0,95	-2,44; 0,54	-0,42	-1,75; 0,91
≤ 0,1 V/m	1195	46,21	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	48,00	2,87	1,28; 4,46	0,77	-0,67; 2,21
Besorgnis	359	46,72	0,81	-0,21; 1,83	0,35	-0,56; 1,25
keine Bedenken	850	45,55	ref.		ref.	
R²_{adj.}		0,077			0,273	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Kopfschmerzen

Tabelle 5.25: Multiple lineare Regressionen mit dem BL-Score (Beschwerdenliste) als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 8	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (MFSA)						
> 0,1 V/m	131	15,99	-0,69	-2,77; 1,40	0,43	-1,04; 1,90
≤ 0,1 V/m	1195	16,88	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	22,88	6,75	4,52; 8,98	2,43	0,84; 4,02
Besorgnis	359	17,03	0,93	-0,49; 2,35	0,13	-0,88; 1,13
keine Bedenken	850	15,86	ref.		ref.	
R²_{adj.}		0,082			0,547	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Beschwerden

Tabelle 5.26: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der körperlichen Summenskala des SF-36 als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 9	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (MFSA)						
> 0,1 V/m	131	49,48	0,40	-1,33; 2,13	-0,11	-1,74; 1,52
≤ 0,1 V/m	1195	49,07	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	46,34	-2,26	-4,11; -0,41	-1,25	-3,02; 0,52
Besorgnis	359	49,83	0,59	-0,59; 1,77	0,66	-0,46; 1,77
keine Bedenken	850	49,18	ref.		ref.	
R²_{adj.}			0,113		0,215	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten eine höhere gesundheitliche Lebensqualität

Tabelle 5.27: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der psychischen Summenskala des SF-36 als Zielvariable, der Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 10	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (MFSA)						
> 0,1 V/m	131	50,77	1,41	-0,36; 3,19	0,45	-0,66; 1,57
≤ 0,1 V/m	1195	49,20	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	46,42	-3,84	-5,74; -1,94	0,08	-1,13; 1,29
Besorgnis	359	49,29	-0,16	-1,37; 1,06	0,56	-0,20; 1,33
keine Bedenken	850	49,79	ref.		ref.	
R²_{adj.}			0,052		0,629	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten eine höhere gesundheitliche Lebensqualität

Zunächst möchte zur Verständlichkeit die dargestellten Ergebnisse aus der multipler linearer Regressionen kurz herleiten: Der Regressionskoeffizient β besagt, um welchen Wert sich der von dem Regressionsmodell vorhergesagte Wert für die abhängige Variable ändert, wenn die zum β -Wert gehörende unabhängige Variable einen um eine Einheit größeren Wert annimmt. Das heißt z. B. für die Tabelle 5.23, dass für Personen, die ihre Beeinträchtigung auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren (kodiert als 1) gegenüber den Personen, die keine Bedenken haben (kodiert als 0) der PSQI-Score um 0,96 Punkte ansteigt. Ein auf dem 5%-Niveau signifikanter β -Wert liegt vor, wenn das 95%-Konfidenzintervall die Null nicht enthält. Für die Variable der Attribution im Modell des PSQI-Scores ist das gegeben. Das Konfidenzintervall liegt zwischen 0,40 und 1,51. Das R^2 besagt, welcher Anteil der Varianz der abhängigen Variable durch das Regressionsmodell erklärt wird. In dem multiplen linearen Modell mit der Zielgröße des PSQI-Scores werden 33,6% der Varianz durch die im Modell befindlichen Variablen erklärt.

Tabelle 5.23 bis Tabelle 5.27 zeigen, dass die gemessene HF-EMF-Exposition durch Mobilfunksendeanlagen in den Modellen 6 bis 10 sowohl im reduzierten als auch im vollständigen Modell keinen signifikanten Einfluss auf die Zielvariablen hat. Der Regressionskoeffizient β liegt teilweise geringfügig oberhalb und teilweise geringfügig unterhalb der Null. Bei Schlafstörungen und Kopfschmerzen und dem psychischen Summenscore des SF-36 ist - wenn überhaupt - die HF-EMF-Exposition durch Mobilfunkbasisstationen mit geringfügig niedrigeren Beschwerden assoziiert. Bei der Beschwerdenliste und bei dem körperlichen Summenscore des SF-36 ist – wenn überhaupt –

die HF-EMF-Exposition durch Mobilfunkbasisstationen mit geringfügig höheren Beschwerden assoziiert.

Weiterhin sollte untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der HF-EMF Exposition und z.B. Schlafstörungen sichtbar wird, falls die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen aus dem Modell herausgelassen werden. In der vorliegenden Studie wurden keine derartigen Beobachtungen gemacht. Lässt man im Fall des globalen Scores des PSQI als Zielvariable die Besorgnis und die Attribution aus dem vollständigen Modell heraus, so ändert sich der β -Wert für die HF-EMF Exposition kaum ($\beta=-0,11$; 95%-KI=-0,63-0,40) und er ist weiterhin nicht statistisch signifikant.

Die Attribution der gesundheitlichen Beeinträchtigung auf die von Mobilfunksendeanlagen emittierten EMF weist in den reduzierten Modellen mit allen fünf Zielvariablen einen signifikant positiven Zusammenhang auf; in den vollständigen Modellen geht die Attribution der gesundheitlichen Beeinträchtigung auf Mobilfunksendeanlagen nur im Fall der Schlafstörungen (Modell 6) und der Beschwerden (Modell 8) mit signifikant höheren Belastungen einher. In allen vollständigen Modellen ist der β -Wert für die Attribution kleiner als in den reduzierten Modellen. Dies bedeutet, dass mindestens einer der in den Modellen 6 bis 10 einbezogenen Prädiktoren des vollständigen Modells einen Confounder für den Zusammenhang zwischen der Attribution der Beeinträchtigung und den verschiedenen Zielvariablen darstellt. Für die „nur“ besorgten Personen finden sich weder in den reduzierten noch in den vollständigen Modellen auf dem 5%-Niveau signifikant von Null abweichende β -Werte.

Fazit:

- Es finden sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der gemessenen Exposition gegenüber den HF-EMF der Mobilfunkbasisstationen einerseits und den fünf in die Analysen einbezogenen gesundheitlichen Beschwerden.
- Statistisch signifikante Assoziationen finden sich zwischen der Attribution gesundheitlicher Beeinträchtigungen auf Mobilfunksendeanlagen einerseits und Schlafstörungen und körperlichen Beschwerden andererseits. Bei den übrigen drei Zielvariablen (Kopfschmerzen, körperliche und psychische Dimension der gesundheitlichen Lebensqualität) findet sich kein derartiger Zusammenhang mit den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen.

Der Einfluss der weiteren Prädiktoren sei nachstehend kurz erläutert (die Tabellen mit den vollständigen Ergebnissen befinden sich im Anhang):

- Frauen weisen bei allen Zielvariablen eine signifikant höhere Belastung auf als Männer.
- Bei den mit der Beschwerdenliste von v. Zerssen gemessenen Befindlichkeitsstörungen steigt die Belastung mit dem Alter deutlich an. Noch ausgeprägter ist dieser Alterseffekt bei der körperlichen Skala des SF-36.
- Personen mit niedriger Schulbildung, d.h. einem Volks- oder Hauptschulabschluss, weisen bei Schlafstörungen, Kopfschmerzen, den mit der Zerssen-Liste gemessenen Befindlichkeitsstörungen und beim körperlichen Gesundheitszustand signifikant höhere Belastungen auf als Personen mit Fachhochschulreife oder Abitur.
- Die Handynutzung hat keinen signifikanten Einfluss auf die Zielvariablen.
- Stress, Ängstlichkeit und Depression haben in allen Fällen einen signifikanten Einfluss auf die einzelnen Zielvariablen.

Die Varianzaufklärung der reduzierten Regressionsmodelle ist gering und liegt zwischen 4,6 (Schlafstörungen) und 11,3% (körperliche Summenscore für SF-36). Sie steigt jedoch unter Be-

rücksichtigung aller acht Störgrößen an und liegt dann in den vollständigen Modellen zwischen 21,5% (körperliche Summenscore für SF-36) und 62,9% (psychischer Summenscore für SF-36).

Um herauszufinden, welche Variablen in besonderem Maße zu dieser hohen Varianzaufklärung beitragen, wird im Folgenden exemplarisch das vollständige Modell 6, in dem der PSQI-Score die Zielvariable darstellt, mehrfach modifiziert:

- Modell 11 entspricht Modell 6 ohne Stress-Score
- Modell 12 entspricht Modell 6 ohne HADS-A- und HADS-D-Score
- Modell 13 entspricht Modell 6 ohne Stress-Score und ohne HADS-A- und HADS-D-Score

Tabelle 5.28: Verschiedene multiple lineare Regressionsanalysen^a (β und 95 % KI) mit dem PSQI-Score (Schlafstörungen) als Zielvariable

	Modell 6: Vollständiges Modell mit allen Störvariablen	Modell 11: Wie Modell 6, jedoch ohne Stress-Score	Modell 12: Wie Modell 6, jedoch ohne HADS-A- und HADS-D-Score	Modell 13: Wie Modell 6, jedoch ohne Stress-, HADS-A- und HADS-D-Score
Exposition(MFSA)				
> 0,1 V/m	-0,16(-0,67; 0,35)	-0,19(-0,70; 0,33)	-0,17(-0,71; 0,36)	-0,37(-0,98; 0,24)
≤ 0,1 V/m	ref.	ref.	ref.	ref.
Bedenken				
Attribution der Beeinträchtigung	0,96(0,40; 1,51)	1,02(0,46; 1,58)	1,08(0,50; 1,66)	1,98(1,33; 2,63)
Besorgnis	0,07(-0,28; 0,42)	0,10(-0,25; 0,45)	0,05(-0,32; 0,42)	0,26(-0,16; 0,68)
keine Bedenken	ref.	ref.	ref.	ref.
Stress-Score	0,06(0,03; 0,09)		0,19(0,17; 0,20)	
HADS-A-Score	0,20(0,13; 0,26)	0,27(0,22; 0,33)		
HADS-D-Score	0,20(0,14; 0,25)	0,24(0,18; 0,29)		
R²_{adj.}	33,6%	32,7%	27,2%	5,9%

^aZusätzlich adjustiert für Geschlecht, Altersgruppe, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung

Den Stress-Score aus dem vollständigen Modell 6 herauszulassen, hat nur eine geringfügig kleinere Varianzaufklärung zur Folge (Delta $R^2=0,9$ %). HADS-A-Score und HADS-D-Score aus dem Modell 6 herauszulassen, führt zu einer um 6,4 % kleineren Varianzaufklärung. Wenn man alle drei Variablen aus dem Modell herauslässt, sinkt die Varianzaufklärung deutlich ab, und zwar von 33,6 % im Ausgangsmodell 6 auf nur noch 5,9 % im Modell 13 (Delta $R^2= 27,7$ %).

Fazit: Dies bedeutet, dass Stress, Ängstlichkeit und Depression den weitaus größten Teil der Varianz des Ausgangsmodells erklären.

Dass die Varianzaufklärung erst dann deutlich zurückgeht, wenn man alle drei Variablen – Stress-Score, HADS-A-Score und HADS-D-Score – aus dem Modell weglässt, legt die Vermutung nahe, dass diese Variablen teilweise die gleiche Information beinhalten. In der Tat zeigen sich in der Studienpopulation zwischen diesen drei Variablen hohe Pearson-Korrelationen:

Die Pearson-Korrelationen liegen

- zwischen Stress-Score und HADS-A-Score bei $r = 0,76$
- zwischen Stress-Score und HADS-D-Score bei $r = 0,67$ und
- zwischen HADS-A-Score und HADS-D-Score bei $r = 0,69$.

Wie aus Tabelle 5.28 weiterhin ersichtlich ist, steigt der β -Wert für die Attribution der Beeinträchtigung deutlich an, wenn man den Stress-, den HADS-A- und den HADS-D-Score aus dem Modell herauslässt.

Fazit: Stress, Ängstlichkeit und Depression sind demnach Confounder für den Zusammenhang zwischen der Attribution der Beeinträchtigung auf die Mobilfunksendeanlage und Schlafstörungen.

Im Kurzfragebogen (vgl. Kapitel 5.3.1: Feldbericht) wurden die Probanden gefragt, ob sie in der letzten Nacht vor der Dosimetermessung Schlafstörungen hatten und ob Sie am Tag der Messung unter Kopfschmerzen litten. Wie in der Auswertungsstrategie in Kapitel 5.3.5 beschrieben, werden die Antworten auf diese Fragen in dichotome Variablen umgewandelt, die dann als Zielvariablen für logistische Regressionsanalysen dienen:

Modell 14 enthält die Zielvariable „Schlafstörungen in der letzten Nacht (ja / nein)“,

Modell 15 die Zielvariable „Kopfschmerzen am Tag der Messung (ja / nein)“.

Wie schon in den Modellen 1 bis 5 erweisen sich die Interaktionsterme aus HF-EMF- Exposition und Besorgnis / Attribution der Beeinträchtigung als nicht signifikant: Im Modell 14 beträgt der zugehörige p-Wert 0,25, in Modell 15 beträgt er 0,89.

Gemäß der Auswertungsstrategie werden daher logistische Modelle ohne den Interaktionsterm gerechnet. Die Ergebnisse dieser logistischen Regressionsanalysen sind in Tabelle 5.29 dargestellt.

Während in multiplen linearen Regressionen der Einfluss eines Prädiktors durch den Regressionskoeffizienten β beschrieben wird, wird in logistischen Regressionen das Odds Ratio berechnet. Im vorliegenden Fall gibt das Odds Ratio für die Exposition an, um welchen Faktor die Chance für eine Schlafstörung in der letzten Nacht bei einer exponierten Person größer ist als bei einer nicht exponierten Person. Ein auf dem 5%-Niveau signifikanter Effekt würde dann vorliegen, wenn das 95%-Konfidenzintervall den Wert 1 nicht enthält.

Tabelle 5.29: Logistische Regressionanalysen^a mit den Zielvariablen Schlafstörungen in der letzten Nacht bzw. Kopfschmerzen am Tag der Messung sowie mit den Einflussvariablen Exposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen

	Modell 14: Zielvariable: Schlafstörungen in der letzten Nacht OR (95%-KI)	Modell 15: Zielvariable: Kopfschmerzen am Tag der Messung OR (95%-KI)
Exposition (MFSA)		
> 0,1 V/m	0,83 (0,52 – 1,32)	0,85 (0,44 – 1,64)
≤ 0,1 V/m	1	1
Bedenken		
Attribution der Beeinträchtigung	1,96 (1,27 – 3,03)	2,29 (1,34 – 3,91)
Besorgnis keine Bedenken	1,25 (0,93 – 1,69) 1	1,18 (0,78 – 1,79) 1
N	1316	1326
Nagelkerke's r²	15,9%	9,0%

^aadjustiert für Geschlecht, Altersgruppe, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

Ein Einfluss der Exposition auf die unmittelbar zurückliegenden Befindlichkeitsstörungen wird nicht festgestellt: Im Fall der Schlafstörungen in der letzten Nacht beträgt das zugehörige Odds Ratio 0,83 (95%-KI = 0,52 – 1,32), im Fall der Kopfschmerzen am Tag der Messung beträgt das Odds Ratio 0,85 (95%-KI = 0,44 – 1,64). Wenn man in dem Modell mit den Schlafstörungen in der letzten Nacht als Zielvariable die Bedenken herauslässt, so ändert sich das Odds Ratio für die Exposition nur ganz geringfügig (OR=0,86; 95%-KI=0,54-1,36), und es ist weiterhin statistisch nicht signifikant.

Um zu prüfen, ob die Sichtbarkeit einer Mobilfunksendeanlage einen Einfluss auf die Schlafqualität hat, wird in das vollständige Modell 6 mit der Zielvariablen Schlafstörungen zusätzlich die Einflussvariable „Sichtbarkeit einer Mobilfunksendeanlage vom Schlafzimmer“ eingefügt. Da sich die gemäß der Auswertungsstrategie zunächst berücksichtigten zusätzlichen Interaktionsterme (Exposition und Sichtbarkeit, Besorgnis und Sichtbarkeit sowie Attribution und Sichtbarkeit) alle auf dem 5 %-Niveau als nicht signifikant erweisen, wird die multiple lineare Regressionsanalyse ohne diese Interaktionsterme neu gerechnet. Dabei zeigt sich, dass die Variable „Sichtbarkeit einer Mobilfunksendeanlage vom Schlafzimmer“ keinen signifikanten Einfluss auf die Schlafqualität hat ($\beta = 0,05$; 95 %-KI = -0,49 – 0,59) und dass diese zusätzliche Variable nicht zu einer größeren Varianzaufklärung beiträgt. Da sich die β -Werte bei allen übrigen Variablen des Modells nur sehr geringfügig verändern, werden sie an dieser Stelle nicht angeführt.

5.4.3 Auswertungen mit der Exposition gegenüber den gesamten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern als Einflussvariable (ohne die elektromagnetischen Felder der up-link-Frequenzen der Mobiltelefone)

Verteilung der Exposition

Analog zu den mittleren Total-field-Werten für die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen wird für die Probanden der Studienpopulation ein mittlerer Total-field-Wert ermittelt, der alle gemessenen Hochfrequenzbereiche mit Ausnahme der Handyfrequenzen (uplink) berücksichtigt (vgl. Kap. 5.3.5) – nachfolgend „mittlerer Total-field-Wert für die gesamten HF-EMF“ genannt.

Tabelle 5.30: Mittelwert, Perzentile sowie niedrigster und höchster Wert der mittleren Total-field-Werte für die gesamten HF-EMF

	Gesamte Studienpopulation der Ergänzungsstudie (N=1326)	Nur Männer (N=653)	Nur Frauen (N=673)	Wohnumgebung=Stadt (N=665)	Wohnumgebung=Vorstadt (N=475)	Wohnumgebung=Land (N=186)
Mittelwert	0,1261 V/m	0,1281 V/m	0,1242 V/m	0,1406 V/m	0,1178 V/m	0,0956 V/m
Median	0,0936 V/m	0,0968 V/m	0,0914 V/m	0,1034 V/m	0,0892 V/m	0,0712 V/m
90. Perzentil	0,2123 V/m	0,2134 V/m	0,2088 V/m	0,2318 V/m	0,2032 V/m	0,1745 V/m
95. Perzentil	0,2825 V/m	0,2663 V/m	0,3062 V/m	0,3289 V/m	0,2663 V/m	0,2069 V/m
99. Perzentil	0,6658 V/m	0,7388 V/m	0,6658 V/m	0,7686 V/m	0,6658 V/m	0,2917 V/m
Niedrigster Wert	0,0506 V/m	0,0506 V/m	0,0508 V/m	0,0506 V/m	0,0508 V/m	0,0509 V/m
Höchster Wert	2,0944 V/m	2,0944 V/m	1,1334 V/m	2,0944 V/m	0,9043 V/m	0,5507 V/m

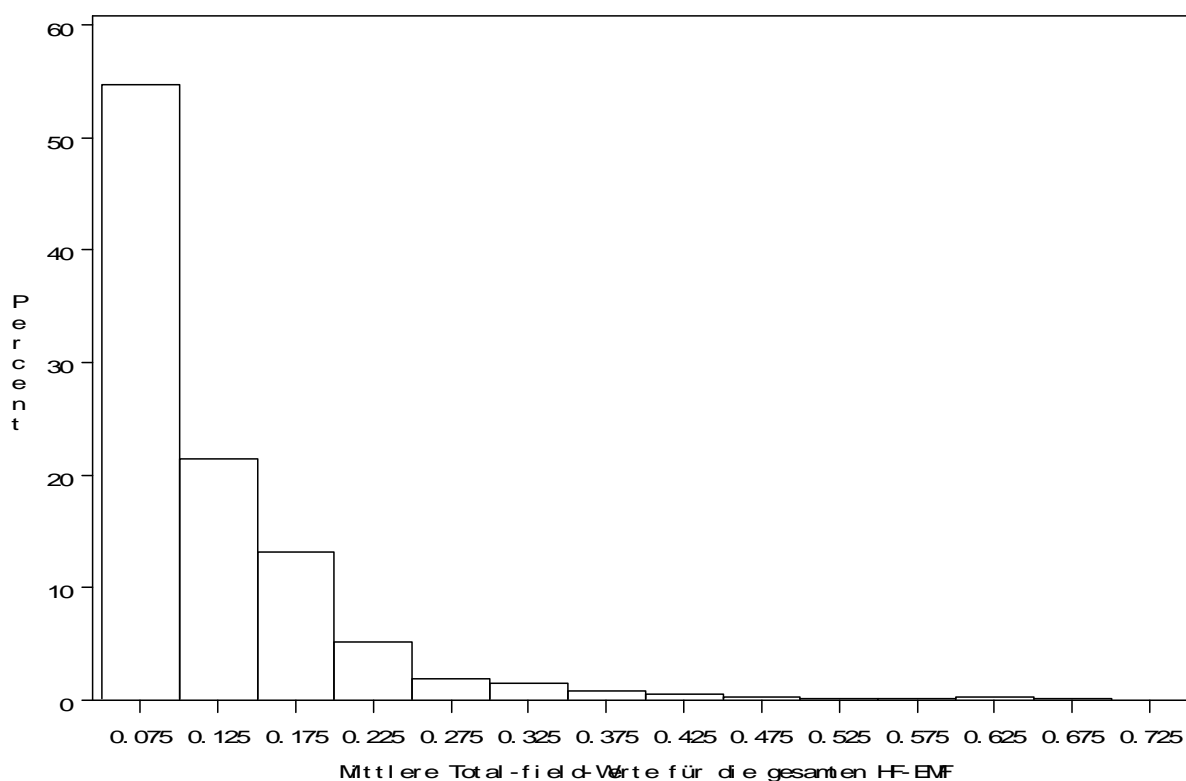


Abbildung 5.28: Histogramm der mittleren Total-field-Werte für die gesamten HF-EMF für die Studienpopulation der Ergänzungsstudie

Wie aus Tabelle 5.30 hervorgeht, unterscheiden sich die auf dem Bett gemessenen Expositionen bei Männern und Frauen nicht. Der Vergleich der Messungen zwischen ländlicher, vorstädtischer und städtischer Wohnumgebung verdeutlicht, dass höhere mittlere Total-field-Werte für die gesamten

HF-EMF Messwerte in dicht besiedelten Gebieten zu finden sind. Das für die Bildung der dichotomen Expositionsvariable maßgebende 90. Perzentil liegt bei 0,2123 V/m, der größte Wert beträgt 2,0944 V/m. Nur bei zwölf Probanden liegt der mittlere Total-field-Wert für die gesamten HF-EMF bei über 0,7 V/m: Diese zwölf Personen sind in dem Histogramm in Abbildung 5.28 nicht berücksichtigt.

Im Unterschied zu Kapitel 5.4.2 wird in den nachfolgend vorgestellten Analysen eine Variable für die HF-EMF-Exposition einbezogen, die die gesamten hochfrequenten elektromagnetischen Felder mit Ausnahme der up-link Handyfrequenzen berücksichtigt. Aus dieser Gesamtexposition wird wiederum eine dichotome Einflussvariable gebildet, bei der das am stärksten exponierte Dezil der Probanden von den übrigen, weniger stark exponierten Dezilen unterschieden wird.

Regressionsmodelle

Als Zielgrößen der linearen Regressionsmodelle werden Schlafstörungen (PSQI), Kopfschmerzen (HIT), Beschwerden (BL) und die körperliche sowie psychische Gesundheit (SF-36) modelliert. Bei den nachfolgenden Regressionen werden Probanden als exponiert betrachtet, wenn ihr mittlerer Total-field-Wert für die gesamten HF-EMF über dem 90. Perzentil von 0,2123 V/m liegt.

In einem vorgeschalteten Schritt werden die beiden Interaktionsterme „Exposition * Besorgnis“ und „Exposition * Attribution der Beeinträchtigung“ in die Modelle aufgenommen (vgl. Tabelle 5.31). Entsprechend der Auswertungsstrategie verbleiben diese Interaktionsterme nur dann in den Modellen, wenn sie auf dem 5 %- Niveau signifikant sind.

Tabelle 5.31: p-Werte der Interaktionsterme zwischen „Gesamtexposition und Besorgnis“ bzw. zwischen „Gesamtexposition und Attribution der Beeinträchtigung“ in den multiplen linearen Regressionsanalysen^a mit allen fünf relevanten Zielgrößen

Modell	Zielvariable	p-Wert des Interaktionsterms Exposition*Besorgnis	p-Wert des Interaktionsterms Exposition*Attribution der Beeinträchtigung	$\Delta R^2_{adj.}$
Modell 16	PSQI-Score (Schlafstörungen)	0,75	0,40	-0,0006 ^b
Modell 17	HIT-Score (Kopfschmerzen)	0,93	0,88	-0,0011 ^b
Modell 18	BL-Score (Beschwerdenliste)	0,64	0,25	-0,0003 ^b
Modell 19	Score der körperlichen Summenskala des SF-36	0,75	0,98	-0,0011 ^b
Modell 20	Score der psychischen Summenskala des SF-36	0,32	0,44	-0,0002 ^b

^aadjustiert für Geschlecht, Altersgruppe, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^bDifferenz von R^2_{adj} des Modells mit allen Störvariablen und den beiden Interaktionstermen und R^2_{adj} des Modells mit allen Störvariablen ohne die beiden Interaktionsterme

Wie aus Tabelle 5.31 hervorgeht, sind die Interaktionsterme in allen fünf Modellen (Modell 16 – 20) auf dem 5%-Niveau nicht signifikant. Die Varianzaufklärung ist in den Modellen mit den Inter-

aktionstermen nicht besser als in den analogen Modellen ohne Interaktionsterme. Entsprechend der Auswertungsstrategie werden die Modelle ohne die Interaktionsterme neu gerechnet.

Die multiplen linearen Regressionsanalysen ohne die Interaktionsterme werden in einem ersten Schritt nur mit den beiden Einflussvariablen „Exposition“ und „Besorgnis / Attribution der Beeinträchtigung“ sowie den Prädiktoren Alter und Geschlecht durchgeführt. Im zweiten Schritt werden alle in der Auswertungsstrategie genannten Störvariablen einbezogen. Die Ergebnisse dieser multiplen linearen Regressionsanalysen finden sich in den Tabelle 5.32– Tabelle 5.36. Diese linearen Regressionsmodelle (Modell 21 bis 25) sind den in Kapitel 5.4.2 untersuchten Modellen 6 bis 10 vollkommen analog mit dem Unterschied, dass sich die Expositionsvariable auf die gesamte hochfrequente elektromagnetische Exposition mit Ausnahme der uplink Handyfrequenzen bezieht.

Tabelle 5.32: Multiple lineare Regressionen mit dem PSQI-Score (Schlafstörung) als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 21	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (Gesamt)						
> 0,2123 V/m	132	5,40	0,05	-0,56; 0,66	-0,03	-0,54; 0,48
≤ 0,2123 V/m	1194	5,29	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	7,00	1,93	1,28; 2,59	0,95	0,39; 1,50
Besorgnis	359	5,35	0,26	-0,16; 0,67	0,07	-0,28; 0,42
keine Bedenken	850	5,04	ref.		ref.	
R² adj.			4,5 %		33,5%	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Schlafstörungen

Tabelle 5.33: Multiple lineare Regressionen mit dem HIT-Score (Kopfschmerzen) als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

		Multiple lineare Regression				
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 22	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (Gesamt)						
> 0,2123 V/m	132	45,51	-0,77	-2,25; 0,71	-0,86	-2,18; 0,46
≤ 0,2123 V/m	1194	46,15	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	48,00	2,83	1,24; 4,42	0,76	-0,68; 2,19
Besorgnis	359	46,72	0,81	-0,21; 1,82	0,34	-0,57; 1,24
keine Bedenken	850	45,55	ref.		ref.	
R²_{adj.}		7,7 %			27,4 %	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Kopfschmerzen

Tabelle 5.34: Multiple lineare Regressionen mit dem BL-Score (Beschwerdenliste) als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 23	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (Gesamt)						
> 0,2123 V/m	132	16,22	-0,69	-2,76; 1,38	-0,85	-2,31; 0,61
≤ 0,2123 V/m	1194	16,86	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	22,88	6,72	4,50; 8,95	2,47	0,88; 4,06
Besorgnis	359	17,03	0,92	-0,50; 2,35	0,11	-0,89; 1,12
keine Bedenken	850	15,86	ref.		ref.	
R²_{adj.}			8,2 %		54,8 %	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten ein höheres Ausmaß an Beschwerden

Tabelle 5.35: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der körperlichen Summenskala des SF-36 als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 24	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (Gesamt)						
> 0,2123 V/m	132	48,78	-0,45	-2,17; 1,27	-0,46	-2,09; 1,16
≤ 0,2123 V/m	1194	49,14	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	46,34	-2,22	-4,07; -0,38	-1,25	-3,02; 0,52
Besorgnis	359	49,83	0,58	-0,60; 1,76	0,65	-0,47; 1,77
keine Bedenken	850	49,18	ref.		ref.	
R²_{adj.}			11,3 %		21,5 %	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten eine höhere gesundheitliche Lebensqualität

Tabelle 5.36: Multiple lineare Regressionen mit dem Score der psychischen Summenskala des SF-36 als Zielvariable sowie der Gesamtexposition und Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen als Einflussvariablen

Multiple lineare Regression						
		Reduziertes Modell ^a			Vollständiges Modell ^{b,c}	
Modell 25	n	Mittelwert ^d	β	95%-KI	β	95%-KI
Exposition (Gesamt)						
> 0,2123 V/m	132	48,88	-0,31	-2,08; 1,45	-0,10	-1,21; 1,01
≤ 0,2123 V/m	1194	49,41	ref.		ref.	
Bedenken						
Attribution der Beeinträchtigung	117	46,42	-3,75	-5,65; -1,85	0,11	-1,10; 1,32
Besorgnis	359	49,29	-0,17	-1,38; 1,05	0,56	-0,20; 1,32
keine Bedenken	850	49,79	ref.		ref.	
R²_{adj.}			5,0 %		62,9 %	

^aadjustiert für Geschlecht und Alter

^badjustiert für Geschlecht, Alter, Wohnumgebung, Schulbildung, Handynutzung, Stress-Score, HADS-A-Score, HADS-D-Score

^cDie vollständigen Ergebnisse mit allen Störvariablen finden sich im Anhang

^dRoher Mittelwert; höhere Werte bedeuten eine höhere gesundheitliche Lebensqualität

Die Gesamtexposition zeigt in den Modellen 21 bis 25 sowohl für das reduzierte als auch das vollständige Modell auf keine der fünf Zielvariablen einen signifikanten Einfluss.

Bei den reduzierten Modellen 21 bis 25 ergibt sich für alle Zielgrößen ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Attribution der gesundheitlichen Beeinträchtigung auf die HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen und den Zielvariablen (vgl. Tabelle 5.32 – Tabelle 5.36). Dieser signifikante Zusammenhang geht in den vollständigen Modellen bei drei der fünf Zielvariablen (Kopfschmerzen, körperliche und psychische Gesundheit) verloren, wenn weitere Störvariablen berücksichtigt werden. In analoger Weise wie in Kapitel 5.4.2 kann auch bei Berücksichtigung der Gesamtexposition als Einflussvariable gezeigt werden, dass Stress, Ängstlichkeit und Depression als Confounder wirken, deren Nichtberücksichtigung zu höheren Effektmaßen für den Zusammenhang zwischen der Attribution der gesundheitlichen Beeinträchtigung auf die von Sendeanlagen emittierten EMF und den jeweiligen Zielvariablen führen.

Die Varianzaufklärung in den Modellen 21 bis 25 ist fast identisch mit der aufgeklärten Varianz in den Modellen 6 bis 10, wobei sich die jeweiligen Modelle nur dadurch unterscheiden, dass bei der Gesamtexposition in den Modellen 21 bis 25 alle Frequenzbereiche außer die EMF der up-link-Frequenzen der Mobiltelefone, bei der objektiven Exposition in den Modellen 6 bis 10 jedoch nur die von den Mobilfunksendeanlagen emittierten hochfrequenten EMF berücksichtigt werden.

5.5 Diskussion

In der III. Phase der QUEBEB Studie wurden mögliche gesundheitliche Auswirkungen der Exposition gegenüber HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen untersucht. Hierzu wurden Mehrpunktmessungen zur Quantifizierung der HF-EMF Exposition an den Schlafplätzen von 1326 Probanden durchgeführt. Bei zwei Dritteln der Probanden entsprach der mittlere Total-field-Wert der Sensitivitätsgrenze der verwendeten Dosimeter. Selbst der höchste mittlere Total-field-Wert lag weit unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte.

Vor allem Beschwerdebilder, die in der Literatur mit HF-EMF in Zusammenhang gebracht werden, sollten untersucht werden. Eine Assoziation der von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF mit Schlafstörungen, Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben, einem allgemeinen Beschwerdenscore und der selbst berichteten gesundheitsbezogenen Lebensqualität wurde nicht beobachtet. Die Ergebnisse zur Assoziation von Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen mit den selbst berichteten Beschwerden sind nicht einheitlich. Dabei wurden die Bedenken als Besorgnis wegen Mobilfunksendeanlagen und als Attribution von gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf die Mobilfunksendeanlagen definiert. Die Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen sind mit Schlafproblemen sowie mit allgemeinen körperlichen Beschwerden (v. Zerssen) assoziiert. Es besteht jedoch kein Zusammenhang zwischen diesen Bedenken und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie den Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben.

Zu den in der Literatur häufig diskutierten Beschwerden im Zusammenhang mit Mobilfunk zählen die Schlafstörungen. Sie wurden in der vorliegenden Studie über den Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI) erfragt. Nicht die Exposition durch HF-EMF, sondern die Bedenken - erfragt als attribuierte Beeinträchtigung durch Mobilfunksendeanlagen - sind mit Schlafstörungen assoziiert. Dieses Ergebnis ist konsistent mit bisherigen Untersuchungen. Experimentelle Studien zum Einfluss von HF-EMF-Exposition kurz vor oder während des zu Bett Gehens auf die Schlafqualität konnten keine verkürzte Schlafdauer bzw. verlängerte Einschlafzeit im Vergleich mit der Schein-Exposition aufzeigen (Mann, Röschke 2004). Die Ergebnisse einer in Österreich an 336 Probanden durchgeführten Querschnittstudie zeigen ebenfalls, dass Schlafprobleme vorwiegend mit der Angst vor der gesundheitlichen Gefährdung durch die Mobilfunksendeanlagen assoziiert sind und nicht mit der Stärke der HF-EMF (Hutter et al. 2006).

Untersucht wurde ferner, ob sich Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen verstärkt auf Schlafstörungen auswirken, wenn Personen gegenüber HF-EMF exponiert sind (Interaktion). Eine Interaktion zwischen der Attribution der gesundheitlichen Beeinträchtigung und der HF-EMF-Exposition durch Mobilfunksendeanlagen war jedoch für keines der berücksichtigten Zielkriterien gegeben (Tabelle 5.7.9.). Personen, deren HF-EMF-Exposition über bzw. unter dem in dieser Studie gesetzten Cutpoint liegen, unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihres medianen Scores im Schlafstörungsfragebogen (PSQI), wenn sie ihre Beeinträchtigung auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren. In beiden Gruppen liegt der mediane PSQI-Score bei 7,0 (Siehe Tabelle 5.7.4). In der gesamten Studienbevölkerung liegt der mediane PSQI-Score bei 4,8. Insgesamt werden 37,5% der 1326 Personen anhand des Cut-off-Wertes von $> 5,0$ als schlecht Schlafende kategorisiert (Buysse et al. 1989). Unter den Personen, die ihre Beeinträchtigung auf Mobilfunksendeanlagen attribuieren, ist der Anteil der schlecht Schlafenden ($>5,0$) mit 57,3% wesentlich höher. Es wird also bereits in der deskriptiven Darstellung ersichtlich, dass vorwiegend die Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen mit einer schlechteren Schlafqualität assoziiert sind und nicht die gemessenen HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen.

Der Zusammenhang zwischen den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und der Zielgröße „Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben“ (gemessen mit dem HIT) ist nicht so stark ausgeprägt. Weder die Exposition gegenüber HF-EMF noch die Bedenken gegenüber Mobilfunksendeanlagen sind mit den Fragen nach Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben assoziiert.

Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu dem bisher einzigen Forschungsergebnis über den Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen und dem Auftreten von Kopfschmerzen. In der bereits oben erwähnten österreichischen Querschnittstudie wurde ein dosisabhängiger Zusammenhang zwischen der gemessenen HF-EMF Exposition (in drei Kategorien) und dem Auftreten von Kopfschmerzen festgestellt. Allerdings lag dieser Studie ein anderer methodischer Ansatz zugrunde. Die Autoren betrachten ihre Studie selbst als explorativ (Hutter et al. 2006). Zugrunde gelegt wurde diesem Ergebnis eine Analyse aller Einzelitems der verwendeten 24-Item-Beschwerdenliste von v. Zerssen, in der unter anderem Kopfschmerz als Einzelitem abgefragt wurde. Dieses Vorgehen wurde in einem Kommentar zu dem Artikel kritisiert,

da nicht auszuschließen sei, dass einige positive Zusammenhänge durch Zufall aufgetreten sein könnten (Coggon 2006). Die Beschwerdenliste erfasst das Ausmaß der Beeinträchtigung des gesundheitlichen Befindens, indem durch 24 Einzelitems das körperliche Beschwerdebild abgefragt wird. Im Auswertungsmanual des Fragebogens sieht v. Zerssen lediglich eine Auswertung mit dem Gesamtscore vor. Die Gütekriterien dieses Fragebogens beziehen sich ausschließlich auf diesen Gesamtscore. Gütekriterien für einzelne Items sind nicht untersucht. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die Reliabilität für einzelne Items niedriger ist als für den Gesamtscore (v. Zerssen 1975).

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Analyse zu Kopfschmerzen basieren auf den sechs Items des Headache Impact Test (HIT), die sich mit den Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben beschäftigen. Daher sind die hier dargestellten Ergebnisse nur bedingt mit den Ergebnissen der zitierten Literatur vergleichbar. Der hier verwendete Headache Impact Test (HIT) wurde von einem internationalen Team von Kopfschmerzexperten aus der Neurologie und der Allgemeinmedizin in Zusammenarbeit mit Psychometrikern entwickelt, um die Beeinträchtigung durch Kopfschmerzen im täglichen Leben zu erfassen und somit die persönliche Bedeutsamkeit. Dieses Instrument bietet im Unterschied zur Abfrage mit nur einem einzigen Item den Vorteil größerer Reliabilität.

Der Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen auf die Entstehung von Kopfschmerzen wurde mehrfach untersucht und die Ergebnisse sind nicht konsistent (Seitz et al. 2005). Ein direkter Vergleich dieser Studien zum Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist nicht sinnvoll, da die Exposition durch die HF-EMF von Handys deutlich höher ist, andere Frequenzbereiche umfasst und eine andere Modulation der HF-EMF vorliegt. Darüber hinaus werden lokal eingegrenzt vorwiegend bestimmte Stellen des Kopfes exponiert. Eine Ganzkörperexposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen ist irrelevant (Hutter et al. 2002).

In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls die Beschwerdenliste von v. Zerssen eingesetzt. Die Analyse der Daten wurde nach den Angaben der Autoren durchgeführt und gibt somit den Gesamtscore wieder. Es konnte beobachtet werden, dass Personen vermehrt Beschwerden angaben, die ihre Beeinträchtigungen auf die Mobilfunksendeanlagen zurückführten, im Vergleich zu Personen ohne Bedenken wegen der Sendeanlagen und zwar unabhängig von einer messtechnisch erfassbaren HF-EMF-Exposition. Somit kann ebenfalls geschlossen werden, dass nicht die Exposition gegenüber den von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF, sondern die Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen im Zusammenhang stehen mit den allgemeinen körperlichen Beschwerden.

Obwohl die Fragestellungen sehr wichtige Rückschlüsse zur Einschätzung des Wohlbefindens erlauben, ist dieser Zusammenhang international bisher nicht untersucht worden. In einer experimentellen Studie an elektrosensitiven und nicht elektrosensitiven Personen wurde ein ähnlicher Fragebogen eingesetzt zur Erfassung von Angst, somatischen Symptomen, allgemeinen Unzulänglichkeiten, Depression und Feindseligkeit (Zwanborn et al. 2003, Regel et al. 2006). Da dieser Fragebogen wesentlich umfassender die psychologische Komponente des gesundheitlichen Wohlbefindens erfasst, ist er nicht mit der Beschwerdenliste nach v. Zerssen vergleichbar, die sich vorwiegend auf körperliche Beschwerden bezieht. Wie bereits erwähnt, wurde die Beschwerdenliste von v. Zerssen in der österreichischen Studie von Hutter et al. (2006) eingesetzt. Die Ergebnisse hinsichtlich des Gesamtscores wurden allerdings nicht dargestellt.

Als weitere Zielgröße wurde die gesundheitsbezogene Lebensqualität (gemessen mit der körperlichen und psychischen Summenskala des SF-36) von Bullinger und Kirchberger (1998) untersucht. Ein Zusammenhang zwischen den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen und dieser Zielgröße wurde nicht beobachtet. Im multiplen Modell sind weder die Exposition gegenüber den von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF noch die Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen assoziiert mit dem allgemeinen Gesundheitszustand. Dies gilt sowohl für die körperliche Summenskala, die solche Bereiche wie körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, körperliche Rollenfunktion und allgemeine Gesundheitswahrnehmung umfasst, als auch für die psychische Sum-

menskala mit den Subskalen Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und psychisches Wohlbefinden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen mit Schlafproblemen sowie mit allgemeinen körperlichen Beschwerden (v. Zerssen) assoziiert sind, dass jedoch kein Zusammenhang zwischen diesen Bedenken und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie den Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben gefunden werden konnte.

Weiterhin wurden Schlafstörungen (PSQI) als Zielvariable in verschiedenen multiplen linearen Modellen untersucht, um herauszufinden welche der berücksichtigten Variablen besonders zur Varianzaufklärung beitragen. Dabei stellte sich heraus, dass chronischer Stress (gemessen mit einer Kurzvariante des Trierer Inventars zum chronischen Stress, TICS) sowie die Selbstbeurteilung von Ängstlichkeit und Depressivität (gemessen mit der Hospital Anxiety and Depression Scale HADS) hauptsächlich die Variationen des Summenscores des PSQI beschreiben (Delta $r^2=27,7\%$). Chronischer Stress und die Selbsteinschätzung zu Angst und Depressivität sind folglich wichtige Prädiktoren für das Auftreten von Schlafstörungen. Im Vergleich dazu wird nur eine geringe Varianz durch die beiden Einflussgrößen „HF-EMF-Exposition“ und „Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen“ erklärt (Delta $r^2=2,5\%$). In Bezug auf die anderen Zielvariablen (Kopfschmerzen, körperliche Beschwerden, gesundheitsbezogene Lebensqualität) ergeben sich hinsichtlich der durch die einzelnen Prädiktoren aufgeklärten Varianz analoge Befunde.

In einem weiteren Schritt sollte untersucht werden, ob es sich bei einzelnen der in den multiplen linearen Regressionsmodellen berücksichtigten Variablen um gravierende Störgrößen für die jeweilig zu berücksichtigende Einflussvariablen handelt. Dazu wurde überprüft, wie stark sich die Regressionskoeffizienten der hier betrachteten Einflussvariablen „Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen“ und „Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen“ ändern, wenn einzelne Variablen aus den Regressionsmodellen herausgenommen werden (Tabelle 5.7.15.). Mit und ohne die Berücksichtigung der Variablen Stress, Angst und Depressivität stellt man hinsichtlich des Einflusses der *HF-EMF-Exposition durch Mobilfunkbasisstationen (Einflussvariable 1)* auf Schlafstörungen nur eine geringfügige Änderung des Regressionskoeffizienten und des entsprechenden Konfidenzintervalls fest. Somit sind diese drei Variablen für diesen Zusammenhang keine gravierenden Störgrößen. Dagegen handelt es sich bei diesen drei Variablen um inhaltlich bedeutsame Störgrößen für den Zusammenhang zwischen den *Bedenken wegen der HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen (Einflussvariable 2)* und den Schlafstörungen: Es zeigt sich deutlich, dass bei Berechnungen ohne die Variablen Stress, Angst und Depressivität starke Zusammenhänge zwischen den Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen und den Schlafstörungen zu finden sind, während dieser Zusammenhang im Modell mit diesen Variablen abgeschwächt wird. In gleicher Weise wie bei den Schlafstörungen erweisen sich Stress, Angst und Depressivität als gravierende Störgrößen für den Zusammenhang zwischen den Bedenken wegen der HF-EMF-Exposition durch Mobilfunksendeanlagen und den Zielvariablen Kopfschmerzen, körperliche Beschwerden und gesundheitsbezogene Lebensqualität.

Diese Ergebnisse lassen sich im Rahmen des integrativen Modells von Bullinger et al. (1997) diskutieren. Dort werden zwei Wege des Einflusses der Umweltexposition auf die Beschwerden angesprochen. Ein Weg läuft über die Umwelttoxine an sich. Bei einem zweiten Weg führen Wahrnehmung und Bewertung der Umweltexposition zu Stress, der wiederum gesundheitliche Beeinträchtigungen zur Folge haben kann. Allerdings wird in einer Querschnittstudie kein gerichteter Weg, sondern ein statistischer Zusammenhang festgestellt. Es ist durchaus möglich, dass Personen, für die die Existenz von Mobilfunksendeanlagen und das für sie damit verbundene mögliche Risiko einen Stressor darstellen, aufgrund ihres so erhöhten Stressniveaus stärker durch Beschwerden beeinträchtigt sind. Alternativ könnte ein erhöhter Grad an allgemeinen Stresssituationen bei den betroffenen Personen dazu führen, dass sie dann auch die spezifische Umwelttoxine als Stressor auffassen. Um diese Frage zu klären, sind weitere vertiefende Studien zum Stressverhalten notwendig.

Bisher gibt es kaum Innenraummessungen zur Bestimmung von HF-EMF. Eine Besonderheit der vorliegenden Studie ist die zusätzliche Messung von HF-EMF in den Schlafräumen der Studienteilnehmer. Bei den in dieser Studie durchgeführten Dosimetermessungen war die Exposition in den Schlafzimmern der Probanden niedrig. Bei Zweidrittel der untersuchten Probanden waren die mittleren Total-Field-Werte für alle Messpunkte unter der Sensitivitätsgrenze des verwendeten Dosimeters. Als Cut-off-Werte der Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunkseanlagen haben wir den Wert von 0,1 V/m genommen (10% Perzentil). Für GSM 900 liegt der Grenzwert für die Ganzkörperbelastung in der Bundesrepublik nach dem 26. BImSchV bei 41,5 V/m. Selbst der gemessene Maximalwert von 1,10 V/m liegt weit unterhalb dieses Grenzwertes. Obwohl im Studiendesign bereits eine vorwiegend städtische Bevölkerung ausgewählt wurde, da in Großstädten die HF-EMF der Mobilfunkseanlagen stärker sind als auf dem Land (Neitzke et al. 2005), ist die gemessene Exposition sehr niedrig.

In weiteren Auswertungen wurde anstelle der ausschließlichen HF-EMF-Exposition durch Mobilfunkseanlagen die Gesamtexposition durch HF-EMF berücksichtigt. Die Exposition aus allen Quellen der HF-EMF ist erwartungsgemäß größer. So liegt der Median bei der Gesamtexposition bei 0,09 V/m, wohingegen der Median der Exposition gegenüber den von Mobilfunkseanlagen emittierten HF-EMF unter der Sensitivitätsgrenze des Dosimeters liegt ($< 0,05$ V/m). Hauptsächlich verantwortlich für den Anstieg der HF-EMF bei der Gesamtexposition ist die Exposition durch Schnurlostelefone nach dem DECT-Standard. Die Ergebnisse hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen den beiden Einflussvariablen „Exposition gegenüber den HF-EMF“ sowie „Bedenken wegen der Seanlagen“ einerseits und den verschiedenen Zielvariablen (Kopfschmerzen, Schlafstörungen, körperliche Beschwerden, gesundheitsbezogene Lebensqualität) andererseits sind fast identisch mit den bereits oben diskutierten Ergebnissen, die nur HF-EMF der Mobilfunkseanlagen berücksichtigten. Es kann somit ausgeschlossen werden, dass durch die fehlende Berücksichtigung anderer Quellen der HF-EMF ein möglicher Einfluss des gesamten Spektrums der HF-EMF übersehen wurde. Es besteht Bedarf an weiterer Forschung, in der die Aufteilung und der Anteil des Beitrages jeder gemessenen Einzelexposition beschrieben werden. So kann nicht abschließend beurteilt werden, ob höhere HF-EMF, die vorwiegend im Bereich der Schnurlostelefone nach dem DECT-Standard zu finden sind, mit den oben genannten Beschwerden in Zusammenhang stehen.

Eine Begrenzung der Aussagekraft dieser Studie liegt im Querschnittsansatz. Hinsichtlich des Auftretens von gesundheitlichen Beschwerden durch HF-EMF wird – wie bereits in der Pilotphase festgestellt – von akuten Effekten ausgegangen. Es wird eine Latenzzeit ausgeschlossen (Neubauer et al. 2005). Dies war in der Pilotphase eine Grundvoraussetzung diese Fragestellung im Rahmen einer Querschnittstudie untersuchen zu können. Die Erhebung der Beschwerden erfolgte somit zeitnah zur Messung der HF-EMF-Exposition. Ein weiteres Problem des Querschnittsansatzes ist jedoch, dass sich die Richtung eines möglichen Kausaleffekts nicht klar bestimmen lässt. Wenn jedoch wie im Fall der Analyse zwischen HF-EMF der Mobilfunkseanlagen und den einzelnen Beschwerden kein Zusammenhang zu finden ist, muss über die Richtung des nicht vorhandenen kausalen Effekts nicht diskutiert werden. Ob und nach welchen intrapsychischen Mechanismen sich Bedenken wegen der Mobilfunkseanlagen auf die Gesundheit wirken können, kann diese Studie nicht beantworten.

Mögliche Selektionsprozesse können nicht ausgeschlossen werden. Es sollte angemerkt werden, dass die untersuchten Selektionsprozesse hinsichtlich der Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen in den einzelnen Erhebungsphasen unterschiedlich waren. In der Basiserhebung musste festgestellt werden, dass die Personen, die Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen haben etwas häufiger die Teilnahme verweigert haben. In der Vertiefungserhebung haben gerade Personen, die Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen haben verstärkt an der messtechnischen Erfassung teilgenommen. Es sollte dabei jedoch auch angemerkt werden, dass diese Selektionsprozesse sich auf die Bedenken wegen Mobilfunkseanlagen bezogen haben. Hinsichtlich der gemessenen HF-EMF Exposition ist ein solcher Selektionsprozess eher auszuschließen. Wir haben durch den bevölkerungsbezogenen

Ansatz der Studie bewusst vermieden, gezielt besorgte Anwohner in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage zu befragen.

Aufgrund des 3-stufigen Studiendesigns erfolgte die Erhebung der HF-EMF-Exposition nicht zeitgleich mit der Fragebogenerhebung der Beschwerden. Die Erhebung der Beschwerden erfolgte postalisch im März 2006, während die Messungen in den Schlafzimmern zwischen April und August 2006 durchgeführt wurden. Somit liegen zwischen der Erfassung der Beschwerden und den vier Punktmessungen auf dem Bett des jeweiligen Probanden ca. ein bis fünf Monate. Für Sensitivitätsanalysen wurden zeitgleich zur Expositionsmessung jedoch zwei Beschwerde-Items erfasst: Die Probanden wurden gefragt, ob sie in der Nacht vor der Messung Schlafstörungen oder ob sie am Tag der Messung Kopfschmerzen hatten. Es besteht auch in diesen Analysen kein Zusammenhang zwischen der HF-EMF Exposition durch Mobilfunksendeanlagen und dem Auftreten dieser Befindlichkeitsstörungen. Wenn überhaupt, zeigte sich sogar ein erniedrigtes Auftreten dieser Befindlichkeitsstörungen, wenn ein Proband als gegenüber den von Mobilfunksendeanlagen emittierten HF-EMF als exponiert eingestuft wurde (Siehe Tabelle 5.7.16).

Eine weitere Einschränkung durch das Studiendesign liegt in der örtlich begrenzten Messung, die ausschließlich Aussagen bezogen auf den Schlafplatz erlaubt. Damit bleiben mögliche höhere Expositionen, die im Laufe des Tages z. B. in anderen Zimmern der Wohnung, während einer Autofahrt oder am Arbeitsplatz auftreten, unberücksichtigt. Diese Einschränkung im Gegensatz zu einer „indoor“ und „outdoor“ Expositionserfassung rund um die Uhr wurde bewusst in Kauf genommen. Der Einsatz der neu entwickelten Dosimeter der Firma Antennessa erfolgte zu einem Zeitpunkt, als noch nicht viele Erfahrungen mit diesem Instrument vorlagen. So konnten zum Beispiel keine eindeutigen Aussagen zur möglichen abschirmenden Wirkung des eigenen Körpers durch die am Körper getragenen Geräte gemacht werden oder durch weitere mögliche Interferenzen der Ganzkörperbelastung. Durch die lokale Eingrenzung auf den Schlafplatz kann davon ausgegangen werden, dass die vorhandene Exposition, die immerhin ca. acht Stunden am Tage bzw. während der Nacht auftrat, valide gemessen wurde.

Als ein weiterer Kritikpunkt kann angeführt werden, dass die Messung der HF-EMF nur an einem Zeitpunkt im Laufe des Tages erfolgte. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Schwankungen im Laufe des Tages bzw. der Nacht auftreten. Allerdings konnten Neitzke und Mitarbeiter (2005) bei Messungen der HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen große Schwankungen im Tages- und Nachtverlauf ausschließen. Wenn überhaupt, findet durch die Messung am Tage eine leichte Überschätzung der Exposition während der Nacht statt (Neitzke et al. 2005). Lediglich im Bereich der nicht kontinuierlich auftretenden HF-EMF - wie z.B. während der Nutzung von Mobiltelefonen - sind unter Umständen sehr große Schwankungen vorhanden. Aus diesem Grunde wurden für die Berechnung der Gesamtexposition die HF-EMF im Bereich des uplinks die Mobiltelefonfrequenzen ausgeschlossen.

Die vorliegende Studie zeichnet sich durch folgende Stärken aus:

Es handelt sich um einen bevölkerungsbezogenen Ansatz. Im zugrunde liegenden Studiendesign wurde eine repräsentative Ausgangsstichprobe gewählt. Wegen der vermutlich niedrigeren HF-EMF-Exposition in ländlichen Wohnumgebungen wurden in der Vertiefungserhebung und für den Vergleich zwischen Beschwerdeangaben und HF-EMF-Messungen vorwiegend städtische Regionen ausgewählt. Somit handelt es sich bei diesen Probanden um eine proportionale Stichprobe aus der Allgemeinbevölkerung und nicht um eine Auswahl von betroffenen Freiwilligen. Werden Anwohner im Umfeld einer Mobilfunksendeanlage befragt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich vermehrt besonders besorgte Bürger an einer solchen Studie beteiligen. Damit konnte dieser mögliche Selektionsfehler vermieden werden.

Es wurden vier zentrale Fragestellungen a priori festgelegt und untersucht. Die Auswertungsstrategie wurde vor der Erhebung ausgearbeitet und die Auswertung wurde entsprechend durchgeführt. Durch dieses Vorgehen sollte vermieden werden, dass sich viele verschiedene Outcomes angesehen werden, ohne zuvor klare Hypothesen zu haben.

Zur Erfassung der Zielgrößen wurden standardisierte, validierte Fragebögen eingesetzt, die Vergleiche mit anderen Studienergebnissen möglich machen.

Während und nach der Datenerhebung fand eine kontinuierliche Datenkontrolle statt, die von zwei voneinander unabhängigen Instituten erfolgte.

Ein besonders wichtiges Qualitätskriterium dieser Studie ist die in 1.500 Haushalten erfolgte Messung der HF-EMF. Damit wurde erstmals eine Beschreibung der HF-EMF in einer überwiegend städtischen Wohnbevölkerung ermöglicht. Der Stichprobenumfang ist für eine messtechnische Erfassung der HF-EMF in Haushalten vergleichsweise hoch. Auch wenn zeitliche Differenzen zwischen Messwert und Befragung vorlagen, und wenn die Expositionsmessung am Tag durchgeführt wurde, liegen hier erstmals in einer epidemiologischen Studie für eine größere Personenzahl valide Messwerte im Bereich der HF-EMF vor.

In der hier vorliegenden Studie wurden zahlreiche Confounder erfasst. Insbesondere die Variable des Stresses wurde bisher noch nicht bei dieser Fragestellung untersucht. Darüber hinaus ist es möglich, andere HF-EMF Felder (z.B. Schnurlostelefone nach dem DECT Standard, Radio und Fernsehsender) in den Analysen gesondert zu berücksichtigen.

Zur Qualitätssicherung trug ebenso die kontinuierliche Qualitätsüberprüfung der Dosimeter bei. So konnte durch dieses Testverfahren vor, während und nach den Messprozeduren im Feld ein defektes Dosimeter identifiziert und die falschen Messergebnisse aus der Auswertung ausgeschlossen werden (siehe Kap. 5.3.3).

Eine Assoziation der HF-EMF von Mobilfunkseanlagen mit Schlafstörungen, Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben, einem allgemeinen Beschwerdenscore und der selbst berichteten gesundheitsbezogenen Lebensqualität wurde nicht beobachtet. Es besteht ebenfalls kein Zusammenhang zwischen den Bedenken wegen der Mobilfunkseanlagen und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie den Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben. Allerdings sind die Bedenken mit Schlafproblemen sowie mit allgemeinen körperlichen Beschwerden (v. Zerssen) assoziiert. Diese Bedenken und deren Auswirkungen auf die Gesundheit sollten ernst genommen werden. Die Ursachenanalyse, wie und warum diese Bedenken wegen der HF-EMF der Mobilfunkseanlagen zu einzelnen körperlichen Beschwerden führen können, bedarf weiterer Forschungsprojekte. Diese Forschungsprojekte sollten darauf ausgerichtet sein, konkrete Handlungsstrategien zu erarbeiten, die in der Risikokommunikation umgesetzt werden können. Darüber hinaus sollten verstärkt Innenraummessungen über alle HF-EMF-Frequenzbereiche durchgeführt und beschrieben werden. Auch wenn insgesamt die HF-EMF-Exposition in den Innenräumen unerwartet niedrig war, werden die hauptsächlichen HF-EMF-Quellen in Innenräumen, wie z.B. das DECT-Telefon, derzeit eher unterschätzt.

6 Schlussfolgerung

Die QUEBEB-Studie erlaubt eine Beschreibung der „indoor“-Exposition gegenüber HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen in Deutschland. Es werden erstmals in einer unselektierten Stichprobe Zusammenhänge zwischen den HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen, Bedenken in der Bevölkerung und weiteren wichtigen Störgrößen wie z. B. Stress einerseits und Befindlichkeitsstörungen sowie der gesundheitlichen Lebensqualität andererseits untersucht. Das dreistufige Design dieser bundesweiten Studie mit einer umfassenden Pilotphase und mehrfach im Laufe des Studienablaufs stattfindenden Expertengesprächen im Bundesamt für Strahlenschutz konnte kontinuierlich an den aktuellen Wissensstand angepasst werden. Die umfangreiche Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Kooperationspartnern förderte einen intensiven Austausch mit Wissenschaftlern aus verschiedenen Wissensgebieten wie zum Beispiel der Medizin, der Epidemiologie und der HF-Technik. Trotz der in den Diskussionen (Phase II und Phase III) angesprochenen Grenzen sind die Ergebnisse weitestgehend vergleichbar mit denen anderer wissenschaftlicher Studien.

Es wurden keine Assoziationen der HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen mit Schlafstörungen, Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben, einem allgemeinen Beschwerdenscore und der selbst berichteten gesundheitsbezogenen Lebensqualität gefunden. Ferner zeigte sich kein Zusammenhang zwischen den Bedenken wegen der Mobilfunksendeanlagen und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie den Auswirkungen von Kopfschmerzen auf das tägliche Leben, wohl aber zwischen den Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen einerseits und Schlafproblemen und allgemeinen körperlichen Beschwerden (v. Zerssen) andererseits.

Es liegen regionale Unterschiede in der Verteilung der Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen vor. In den südlichen Bundesländern sind diese Bedenken besonders stark ausgeprägt. Darüber hinaus bestehen zwischen ländlichen und städtischen Bevölkerungsgruppen Unterschiede bei der Exposition gegenüber HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen. Gerade in der städtischen Bevölkerung sind die „indoor“-HF-EMF-Expositionen der Sendeanlagen größer als in der ländlichen Bevölkerung. Diese Unterschiede spiegeln sich jedoch weder in den Bedenken noch in den gesundheitlichen Beschwerden wider.

Die HF-EMF-Exposition durch Mobilfunksendeanlagen der in die Studie eingeschlossenen Wohnungen erwies sich als niedrig. Dies konnte sowohl durch das vom ECOLOG-Institut im Projekt „Bestimmung der Exposition von Personengruppen im Rahmen des Projektes QUEBEB“ entwickelte Expositionsmaß für 30.000 Wohnungen unter Vorbehalt geschätzt als auch mit den aktuellen Messwerten auf den Schlafplätzen von 1.326 Probanden bestätigt werden.

Das dreistufige Studiendesign, die hohen Fallzahlen und die umfangreichen Kooperationen mit unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen gewährleisteten unseres Erachtens die Qualität der Ergebnisse. Es ist jedoch nicht möglich, auf Basis der Ergebnisse einer einzelnen epidemiologischen Studie sichere Schlussfolgerungen zu ziehen. Dennoch sollten die Ergebnisse neben dem wissenschaftlichen Diskurs dazu genutzt werden, gerade in den Regionen und bei den Personen mit großen Bedenken wegen Mobilfunksendeanlagen mögliche Wirkungsmechanismen der Entstehung gesundheitlicher Beschwerden zu diskutieren. In der vorliegenden Studie sind die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen nicht mit den gesundheitlichen Beschwerden assoziiert, sehr wohl aber die Bedenken gegenüber diesen Sendeanlagen mit zwei der hier betrachteten gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Es stellt sich die Frage, ob nicht als Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen Strategien der Risikokommunikation zu entwickeln wären, die die weit verbreiteten kritischen Einstellungen gegenüber Mobilfunksendeanlagen mit der fehlenden Evidenz für eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch diese Sendeanlagen konfrontiert. Es muss allerdings eingeschränkt werden, dass die vorliegende Studie nur Aussagen zur Assoziation, nicht jedoch zum kausalen Wirkungsmechanismus erlaubt. Es ist keineswegs gesichert, dass Bedenken wegen Sendeanlagen als Ursache für Schlafstörungen und körperliche Beschwerden anzusehen sind. Vielmehr kann der hier gefundene Zusammenhang zwischen diesen Variablen auch andersherum gerichtet sein, so dass gesundheitlich

beeinträchtigte Personen eher dazu neigen, sich wegen potentieller Risikofaktoren besorgt zu zeigen und bereits vorhandene Beschwerden auf diese Risikofaktoren zurückzuführen. In dieser Frage besteht weiterer Forschungsbedarf.

Das berechnete öffentliche Interesse für die Frage, ob die von Mobilfunksendeanlagen emittierten Felder gesundheitliche Beschwerden auslösen können, sollte allerdings nicht dazu führen, weitere wichtige Risikofaktoren für die in dieser Studie untersuchten Zielgrößen (gesundheitliche Lebensqualität und Beschwerden wie Kopfschmerzen und Schlafstörungen) zu vergessen. Unbestrittene Auslöser liegen in dem Spannungsfeld von alltäglichen Belastungen und Persönlichkeitsmerkmalen wie etwa Ängstlichkeit, Depressivität und Stress. Diese Faktoren sind in der vorliegenden Studie weitaus stärker mit der gesundheitlichen Lebensqualität und den Beschwerden assoziiert als die auf den Mobilfunk bezogenen Expositionen.

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich aus den dargestellten Ergebnissen. Die externe Validierung des Expositionsmaßes vom ECOLOG-Institut konnte noch nicht realisiert werden. Im ursprünglichen Studiendesign war vorgesehen, dass unter Zuhilfenahme des Expositionsmaßes die Exposition in den Haushalten mit den Daten der Bundesnetzagentur für den Bestand an Mobilfunksendeanlagen des Jahres 2004 abgeschätzt werden sollte, um das Expositionsmaß in einem weiteren Schritt mit den Messungen der Vertiefungserhebung zu validieren. Es ergab sich einerseits aus finanziellen Gründen eine Verzögerung der Vertiefungserhebung um ca. sechs Monate vom ursprünglichen Zeitplan. Andererseits gab es eine rasante Zunahme der Mobilfunksendeanlagen in den letzten zwei Jahren. In der uns vorliegenden Datenbank der Bundesnetzagentur aus dem Jahr 2004 sind technische Angaben für 51.000 Mobilfunksendeanlagen enthalten. Schätzungen für das Jahr 2006 gehen davon aus, dass inzwischen ca. 80.000 Mobilfunksendeanlagen existieren. Daher kann das mit den Daten aus dem Jahr 2004 ermittelte Expositionsmaß nur unzureichend mit den im Jahr 2006 durchgeführten Messungen validiert werden. Wegen der daraus resultierenden geringen Aussagekraft einer solchen Validierungsstudie wurde davon abgesehen, diese Auswertung durchzuführen. Allerdings handelt es sich um eine wichtige Fragestellung, die in Zukunft noch beantwortet werden sollte. Ein solches Expositionsmaß wäre in epidemiologischen Studien einfach und sinnvoll einsetzbar. Unter der Voraussetzung einer ausreichenden Validität des Expositionsmaßes könnten weitere Studien zur Abschätzung der HF-EMF-Exposition durch Mobilfunksendeanlagen wesentlich einfacher und kostengünstiger durchgeführt werden.

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der physikalischen Exposition gegenüber den HF-EMF von Mobilfunksendeanlagen und der Gesundheit der Bevölkerung bestehen weitere offene Fragen: Die Bedeutung der Schnurlostelefone als eine wichtige Expositionsquelle in Wohnräumen wurde bisher unterschätzt. Wichtige Endpunkte des gesundheitlichen Risikos im Bereich der Hochfrequenzdebatte sind bislang noch nicht zufrieden stellend behandelt worden. In dieser Querschnittsstudie wurden allgemeine gesundheitliche Beschwerden untersucht, die mit HF-EMF in Verbindung gebracht werden. Andere gesundheitliche Auswirkungen, z.B. auf das Herz-Kreislaufsystem oder Auswirkungen auf vulnerable Bevölkerungsgruppen, wie z.B. Personen mit Epilepsie, sind noch nicht hinreichend wissenschaftlich erforscht worden. Darüber hinaus fehlen Informationen über die gesundheitlichen Auswirkungen einer langfristigen Exposition der HF-EMF. Dabei handelt es sich jedoch um eine immense Herausforderung. Gerade eine langfristige Abschätzung einer Exposition, die mit derart großen und kurzlebigen technischen Entwicklungen verknüpft ist, erscheint schwierig und erfordert ein Studiendesign, das kontinuierlich an neue technische Gegebenheiten anzupassen ist.

Zusammenfassend lässt sich aufgrund der vorliegenden Studie sagen, dass die HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen nicht mit den gesundheitlichen Beschwerden assoziiert sind, sehr wohl aber die Bedenken gegenüber diesen Sendeanlagen mit zwei der hier betrachteten gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Diese Ergebnisse sollten in die Risikokommunikation über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch HF-EMF einfließen.

7 Literatur

- Abdel-Rassoul G, Abou El-Fateh O, Abou Salem M, Michael A, Farahat F, El-Batanouny M, Salem E: Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *NeuroToxicology* 2006 epub. (doi: 10.1016/J.neuro.2006.07.012).
- Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG). Indikatorenatz für die Gesundheitsberichterstattung der Länder. 2003.
- Bernhardt O, Gesch D, Schwahn C, Mack F, Meyer G, John U, Kocher T. Risk factors for headache, including TMD signs and symptoms, and their impact on quality of life. Results of the Study of Health in Pomerania (SHIP). *Quintessence International* 2005;36(1):55-64.
- Bland, JM, Altman, DG. Statistical Methods for Assessing Agreement between two Methods of Clinical Measurement, *Lancet*, February 8, 1986
- Blettner M, Berg G. Are mobile phones harmful?. *Acta Oncolog* 2000;39:927-30.
- Blettner M, Michaelis J, Wahrendorf J. Mobilfunk und Gesundheit. Noch keine gesicherten epidemiologischen Studien verfügbar. *Deutsches Ärzteblatt* 2000;97:A847-A7850.
- Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neuroscience Letters* 1999;275:207-10.
- Bornkessel C, Schubert M. Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, 2005.
- Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P. Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, 2006.
- Bullinger M, Guski R.: Befindlichkeitsstörungen durch Umweltbelastungen – Gegenstand gesundheitswissenschaftlicher Forschung. *Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften* 3. Beiheft: 49 – 66, 1997.
- Bullinger M, Kirchberger I: Der SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand. Handbuch für die deutsch-sprachige Fragebogenversion, 1998.
- Bullinger M. Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem SF-36. *Rehabilitation* 1996;35:XVII-XXIX.
- Bullinger M, Kichberger I. Fragebogen zum Gesundheitszustand. Handanweisung. Göttingen et al., Hogrefe - Verlag für Psychologie 1998.
- Busse DJ, Reynolds CF 3rd, Monk TH et al. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 1989;28:193-213.
- Busse DJ, Reynolds CF 3rd, Monk TH et al. Quantification of subjective sleep quality in healthy elderly men and women using the Pittsburgh sleep quality index (PSQI). *Sleep* 1991;14:331-338.
- Chia SE, Chia HW, Tan JS. Prevalence of head ache among handheld cellular telephone users in Singapore; A community study. *Environ Health Persp* 2000;108:1059-62.
- Coggon D. Health risks from mobile phone base stations. *Occupational and Environmental Medicine* 2006;63:298–299.

- Croft R J, Chandler J S, Burgess A P, Barry R J, Williams J D, Clarke A R: Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 2002;113(10):1623-32.
- Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L, Cristiani R, D'Inzeo G, Bertini M: Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature. *Neuroreport* 2004;15(1):161-4.
- D'Costa H, Trueman G, Tang L, Abdel-rahman U, Abdel-rahman W, Ong K, Cosic I: Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med* 2003;26(4):162-7.
- Edelstyn N, Oldershaw A: The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2002;13(1):119-21.
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T: Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998;9:3229-32.
- Fleiss JL. *Statistical methods for rates and Proportion*. Second Edition. Wiley 1981.
- Frick U, Rehm J, Eichhammer P. Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields - A randomized survey study. *Int J Hyg Environ Health* 2002;205:353-360.
- Guski R. *Lärm: Wirkungen unerwünschter Geräusche*. Bern, Huber, 1987.
- Habash RWY, Brodsky LM, Leiss W, Krewski D, Repacholi M: Health risk of electromagnetic fields. Part II: Evaluation and assessment of radio frequency radiation. *Crit Rev Biomedical Engin* 2003;31:197-254.
- Hamblin D L, Croft R J, Wood A W, Stough C, Spong J: The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields - Informationen aus Abstract. *Bioelectromagnetics* 2006.
- Hamblin D L, Wood A W: Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol* 2002;78(8):659-69.
- Herrmann C, Buss U, Snaith RP. *HADS-D. Hospital Anxiety and Depression Scale-Deutsche Version*. Hans Huber, Bern 1995.
- Hermann DM, Hossmann KA: Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. *J Neurol Sci* 1997;152:1-14.
- Hietanen M, Kovala T, Hamalainen AM: Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health* 2000;26:87-92.
- HIT-6 Scoring Interpretation Germany, Version 1.1; Quality Metric, Inc, and GlaxoSmithKline Group of Companies, 2001
- Hosmer DW, Lemeshow S. *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, San Francisco 1989.
- Huber R, Graf T, Cote K A, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbely A A, Achermann P: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000,11(15):3321-5.
- Huber R, Kimberly T, Wittmann L et al.: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2001;11:3321-25.
- Huber R, Treyer V, Borbely A A, Schuderer J, Gottselig J M, Landolt H P, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002;11(4):289-95.
- Hutter HP, Moshammer H, Kundi M. Mobilfunk-Basisstationen: Erste Ergebnisse von zwei Feldstudien. Poster. *Umweltmed Forsch Prax* 2002b;7(4):213,216.

- Hutter HP, Moshhammer H, Kundi M. Mobile Telefone base-stations: Effects on Health and wellbeing. Proceedings of Biological Effects of EMFs 2nd International Workshop, Rhode: 344 – 352. 2002.
- Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Public perception of risk concerning cell towers and mobile phones. Sozial- und Präventivmedizin 2004;49:62–66.
- Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. Occupational and Environmental Medicine 2006;63:307–313.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields. Health Phys 1998;74:492-522.
- ICNIRP: Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters. Health Phys 1996;70:587-93.
- IFD Institut für Demoskopie. Allensbacher Computer- und Telekommunikationsanalyse. Allensbach am Bodensee 2003.
- INFAS (Institut für angewandte Sozialwissenschaft). Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen. Abschlussbericht über die Befragung im Jahr 2004.
- Jacobi F, Hoyer J & Wittchen HU. Seelische Gesundheit in Ost und West: Analysen auf der Grundlage des Bundesgesundheits surveys. Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie 2004;33(4):251 – 260.
- Jauchem JR. Exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: cardiovascular effects in humans. Int Arch Occup Environ Health 1997;70:9-21.
- Jauchem JR, Ryan KL, Frei MR. Cardiovascular and thermal responses in rats during 94 GHz irradiation. Bioelectromagnetics 1999;20:264-67.
- Juutilainen J, de-Seze R. Biological effects of amplitude-modulated radiofrequency radiation. Scand J Work Environ Health 1998;24:245-54.
- König W. Öffentliche und private Vorsorge beim Schutz vor elektromagnetischen Feldern. Vortrag in der Ev. Akad. Loccum - Internet: www.bfs.de 11.02.2002.
- Kosinski M, Bayliss MS, Bjorner JB et al. A six-item short-form survey for measuring headache impact: the HIT-6. Qual Life Res 2003;12:963-74.
- Krause C M, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. Neuroreport 2000;11(4):761-4.
- Kristensen TS. Cardiovascular diseases and the work environment. A critical review of the epidemiologic literature on nonchemical factors. Scand J Work Environ Health 1989;15:165-79.
- Kundi M, Mild KH, Hardell L, Mattson MO. Mobile telephones and cancer - a review of epidemiologic evidence. J Toxicol Environ Health 2004;7:351-84.
- Kundi M. Erste Ergebnisse der Studie über Auswirkungen von Mobilfunk-Basisstationen auf Gesundheit und Wohlbefinden. Manuskript, Universität Wien 2001.
- Lazarus RS, Launier R. Stressbezogene Transaktionen zwischen Personen und Umwelt. In: Nitsch J (Hrsg.). Stress – Theorien, Untersuchungen, Maßnahmen: 391 – 440. Bern u.a., Huber, 1981.
- Lees-Haley PR, Brown RS. Biases in perception and reporting following a perceived toxic exposure. Perceptual and Motor Skills 1992;75:531–544.

- Loughran S P, Wood A W, Barton J M, Croft R J, Thompson B, Stough C: The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *Neuroreport* 2005;16(17):1973-6.
- Lu ST, Brown DO, Hohnson CE, Mthur SP, Elson EC. Abnormal cardiovascular responses induced by localized high power microwave exposure. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering* 1992;39:484.
- Mann K, Rösche J. Sleep under exposure to high-frequency electromagnetic fields. *Sleep Medicine Reviews* 2004;8:95–107.
- Mann K, Rösche J: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996;33:41-47.
- Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Roschke J: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998;67(2):139-44.
- Mann SM, Addison DS, Blackwell RP, Khalid M, Personal Dosimetry of RF Radiation - Laboratory and Volunteer Trials of an RF Personal Exposure Meter, Report HPA-RPD-008, Health Protection Agency, Chilton, 2005.
- Matthies E, Höger R, Guski R. Living on polluted soil. Determinants of stress symptoms. *Environment and Behavior* 2000;32:270 – 286.
- McCullagh P, Nelder JA. Generalized linear models. Second edition. Chapman & Hall, London 1989.
- Michaelson SM, Elson EC. Interaction of non modulated radiofrequency fields with living matter: experimental studies. In: Polk C, Postow E. *Handbook of biological effects of electromagnetic fields*. Second edition. CRC press, Boca Raton 1996, 435-533.
- Mild KH, Oftedal G, Sanström M et al. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Arbetslivsrapport*. Dept. of Technical Hygiene 1998: 23.
- Mueller O U, Bormann C. Panel Erhebungen mit Gesundheitsbezug. *ZUMA-Nachrichten* 2004;54:53-96.
- Navarro E A, Segura J, Portoles M, Gomez-Perretta de Mateo C. The Microwave Syndrome: A Preliminary Study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2003;22(2):161-69.
- Neitzke H-P, Osterhoff J, Peklo K, Voigt H, Wohlatz T. Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen" untersucht werden. *ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH* 2005.
- Neubauer G, Rösli M, Feychting M, Hamnerius Y, Kheifets L, Kuster N, Ruiz I, Schüz J, Überbacher R, Wiart J. Study on the feasibility of epidemiological studies on health effects of mobile telephone base stations – final report. *FSM-Projekt No A2003-9*, 2005.
- NRPB National Radiological Protection Board. Electromagnetic fields and risk of cancer: Report on an advisory group on non-ionising radiation. *NRPB* 2001;12:(1).
- Oftedal G, Wilen J, Sandström M, Mild KH. Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup Med* 2000;50:237-245.
- Ohayon MM. Prevalence and correlates of nonrestorative sleep complaints. *Archives of Internal Medicine* 2005;165(1):35-41.
- Owen RD: Possible health risks of radiofrequency exposure from mobile telephones. *Epidemiology* 2000;11:99-100.

- Papageorgiou C C, Nanou E D, Tsiafakis V G, Capsalis C N, Rabavilas A D: Gender related differences on the EEG during a simulated mobile phone signal - Informationen aus Abstract. *Neuroreport* 2004;15(16):2557-60.
- Posner KL, Samson PD, Caplan RC, Ward RJ, Cheney FW. Measuring interrater reliability among multiple raters: An example of methods for nominal data. *Stat Med* 1990;9:1103-1115.
- Potthoff P, Heinemann L A J, Güther B. A household panel as a tool for cost-effective health-related population surveys: validity of the "Healthcare Access Panel". *German Medical Science* 2004;2:Doc05.
- Preece AW, Iwi G, David-Smith A et al.: Effect of a 95 MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in men. *Int J Radiat Biol* 1999;75:447-56.
- Preuss S. *Ökopsychosomatik. Umweltbelastungen und psychovegetative Beschwerden*. Heidelberg, Asanger, 1995.
- QUEBEB-Arbeitsgruppe. Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen, Zwischenbericht zum Abschluss der Pilotphase, 03.06.2004. 2004.
- Regel S, Negovetic S, Rösli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P: UMTS Base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environm Health Perspect* 2006;114:1270-1275.
- Reiser H, Dimpfel W, Schober F: The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1995;1:27-32.
- Repacholi MH: Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1998;9:1-19.
- Riemann D, Backhaus J. *Behandlung von Schlafstörungen. Ein psychologisches Gruppenprogramm*. Beltz, Weinheim 1996.
- Rösli M, Moser M, Baldinini Y, Meier M, Braun-Fahrländer C: Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure – a questionnaire survey. *Int. J. Hyg Environ. Health* 2004 207: 141-150.
- Röschke J, Mann K: No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997;18(2):172-6.
- Sandström M, Wilen J, Oftedal G, Mild KH. Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med* 2001;51:25-35.
- Santini R, Santini P, Danze J M, Le Ruz P, Seigne M. Study of the health of people living in the vicinity of mobile phone base stations: I. Influences of distance and sex. English Translation. *Pathol Biol* 2002;50:369-73.
- Schulz, M. Ansätze einer Methode zur geometrischen Qualitätsverbesserung geocodierter Daten der Deutschen Post Direkt GmbH. www.geoinformatik-online.de 2005;1:1-35.
- Schulz P & Schlotz W. Das Trierer Inventar zur Erfassung von chronischem Stress – Version 2 (TICS 2) in: *Trierer Psychologische Berichte, Band 29, Heft 2; Trier Universität, Fachbereich I – Psychologie; 2002.*
- Schulz P, Schlotz W, Becker P: *Trierer Inventar zum Chronischen Stress*, 2003.
- Schulz P, Schlotz W und Becker P. *Trierer Inventar zum chronischen Stress*. Hogrefe Verlag, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle, 2005.

- Schüz J Mann S: A discussion of potential exposure matrix for use in epidemiological studies on human exposure to radio waves from mobile phone base stations. *J Exp Anal Environ Epidemiol* 2000;10:600-605.
- Seitz H, Stinner D, Eikmann T, Herr C, Rösli M. Electromagnetic hypersensitivity (EHS) and subjective health complaints associated with electromagnetic fields of mobile phone communication – a literature review published between 2000 and 2004. *Science of the Total Environment* 2005;349:45 – 55.
- Seitz H, Stinner D, Eikmann T. Befindlichkeitsstörungen. Gutachten im Auftrag der Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT) des Forschungszentrums Jülich. 2004.
- Statistisches Bundesamt. Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2001. Wiesbaden 2003.
- Stewart W: Mobile phone and health. Independent expert group of mobile phone. National Radiological protection Board, Chilton 2000.
- Stolzenberg H. Bundesgesundheitsurvey 1998. Public Use File BGS 98. Dokumentation des Datensatzes. Robert-Koch-Institut, Berlin 2000.
- Stuchly MA. Biomedical concerns in wireless communications. *Critical Rev Biomed Engineering* 1998;26:117-51.
- Unger DG, Wandersman A, Hallman W. Living near a hazardous waste facility: Coping with individual and family distress. *The American Journal of Orthopsychiatry* 1992;62:55–70.
- v. Zerssen D. Die Beschwerden-Liste. Parallelförmige B-L und B-L'. Ergänzungsbogen B-L. Beltz, Weinheim 1975.
- Verschaefe L, Maes A. Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. *Mutat Res* 1998;4110:141-65.
- Wagner P, Roschke J, Mann K et al.: Human sleep EEG under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 2000;42:207-12.
- Wagner P, Roschke J, Mann K, Hiller W, Frank C: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 1998;19:199-202.
- Wirtz M, Farin E, Bengel J, Jäckel WH, Hämmerer D, Gerdes N. IRES-24 Patientenfragebogen. Entwicklung der Kurzform eines Assessmentinstrumentes in der Rehabilitation mittels der Mixed-Rasch-Analyse. *Diagnostica* 2005;51(2):75-87.
- Zeitlhofer J, Schmeiser-Rieder A, Tribl G, Rosenberger A, Bolitschek J et al. Sleep and quality of life in the Austrian population. *Acta Neurol Scand* 2000;102:249-57.
- Zerssen D v.: Die Beschwerde-Liste. Manual. Beltz. 1975
- Zerssen D v.: Hogrefe Verlag, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle; 2005
- Zwamborn APM, Vossen SHJA, van Leersum BJAM, Ouwens MA, Mäkel WN. TNO report: Effects of Global Communication systems radio-frequency fields on Well-Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. TNO Physics and Electronics Laboratory, The Hague, The Netherlands. 2003.

Internetquellen:

- Berg G, Breckenkamp J, Kowall B, Schmiedel S, Blettner M, Schlehofer B, Potthoff P, Reis U: Zwei Zwischenberichte der Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_verg/epi_020.html)
- INFAS Institut für angewandte Sozialwissenschaften. Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks. Abschlussbericht der Befragung 2003. Bonn, 2003. (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021_Bericht_2003_voll.pdf, letzter Zugriff: 17. April 2007).
- INFAS Institut für angewandte Sozialwissenschaften. Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks. Abschlussbericht der Befragung 2004. Bonn, 2004. (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021_Bericht_2004_voll.pdf, letzter Zugriff: 17. April 2007).
- INFAS Institut für angewandte Sozialwissenschaften. Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks. Abschlussbericht der Befragung 2005. Bonn, 2005. (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021_Bericht_2005.pdf, letzter Zugriff: 17. April 2007).
- INFAS Institut für angewandte Sozialwissenschaften. Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks. Abschlussbericht der Befragung 2006. Bonn, 2006. (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021_Bericht_voll_2006.pdf, letzter Zugriff: 17. April 2007).
- Statistisches Bundesamt (2004): "Immer mehr Haushalte mit PC, Sättigung bei Handys. Pressemitteilung vom 21. Dezember 2004." Stand: 18.02.06: <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2004/p5400024.htm>.
- Statistisches Bundesamt (2006): "Informationstechnologie in Haushalten 2005. Tabellenanhang zur Pressebroschüre." (http://www.destatis.de/download/d/veroe/Tabellenanhang_Haushalte_IKT_2005.pdf.)
- Ulmer S, Bruse M. Ergänzende Informationen über Elektrosensible“ - Demographie, Psychographie, Kommunikationsempfehlungen -. Abschlussbericht zur Studie im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms Köln, 2006. (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_025_AB.pdf, letzter Zugriff: 18. April 2007).

8 Anhänge

PHASE I:

Anhang 1: Fragebogen der Piloterhebung (Big Screen)

Anhang 2: Fragebogen der Piloterhebung (Pilotbefragung zu EMF-relevanten Beschwerden)

Anhang 3: Tabellarische Auswertung der Pilotbefragung zu EMF-relevanten Beschwerden

PHASE II:

Anhang 4: Fragebogen der Basiserhebung

Anhang 5: Tabellarische Grundausswertung des Fragebogens der Basiserhebung

PHASE III:

VERTIEFUNGSERHEBUNG

Anhang 6: Fragebogen der Vertiefungserhebung

Anhang 7: Tabellarische Auswertung der Vertiefungserhebung nach Geschlecht, Alter und Ortsgrößenklassen

ERGÄNZUNGSERHEBUNG

Anhang 8: Interviewanleitung für die CAPI's der Ergänzungserhebung (incl. Bedienungsanleitung, Kompass und der Schablone für die Messungen mit dem Dosimeter)

Anhang 9: Dokumentationsbogen der Ergänzungserhebung

Anhang 10: Kurzfragebogen der Ergänzungserhebung

Anhang 11: Zusätzliches Anschreiben der Universität Bielefeld an die Teilnehmer der Ergänzungstudie zur Unbedenklichkeit der Dosimetermessungen im Haushalt

Anhang 12: Tabellarische Auswertung des CAPI's der Ergänzungserhebung

Anhang 13: Vollständige Tabellen der multiplen linearen Regressionsanalysen der Beschwerden mit der Exposition gegenüber den HF-EMF der Mobilfunksendeanlagen bzw. den HF-EMF der Gesamtexposition sowie den Bedenken als Einflussgrößen