

Abschlussbericht

MobilEe - Mobilfunk: Exposition und Befinden



Epidemiologische Untersuchung zu möglichen akuten gesundheitlichen Effekten durch Mobilfunk bei Kindern und Jugendlichen

München, Juni 2008

Dipl.-Psych. Sabine Heinrich
Dipl.-Stat. Anja Kühnlein
Dipl.-Päd. Silke Thomas, MPH
Prof. Dr. Katja Radon, MSc
Dr. Georg Praml
Prof. Dr. Dennis Nowak
**AG Arbeits- und Umweltepidemiologie
& Net Teaching**
**Institut und Poliklinik für Arbeits-,
Sozial und Umweltmedizin**
LMU München
Ziemssenstr. 1
80336 München

Prof. Dr. Rüdiger von Kries, MSc
**Epidemiologie im Kindes- und
Jugendalter**
Schwerpunkt Gesundheitsforschung
**Institut für Soziale Pädiatrie und
Jugendmedizin der LMU München**
Heiglhofstr. 63
80377 München

PD Dr. Christian Heumann
Institut für Statistik
Ludwigstr. 33
80539 München



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	16
Summary	18
1. Einleitung	20
2. Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung	22
2.1. Hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks	22
2.1.2. Das Mobilfunksystem und die Übertragungswege des Mobilfunks	23
2.1.3. Grenzwerte im Mobilfunkbereich	24
2.1.4. Mobiltelefonbesitz und Mobiltelefonnutzung	26
2.2. Expositionserfassung von Mobilfunkexposition	29
2.2.1. Mobilfunknutzung	29
2.2.2. Selbst eingeschätzter Abstand zur nächsten Basisstation	31
2.2.3. Stationäre Messungen	32
2.2.4. Berechnung der Exposition.....	33
2.2.5. Personendosimetrie	34
2.3. Mobilfunk und Gesundheit	35
2.3.1. Thermische und athermische Effekte des Mobilfunks	35
2.3.2. Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Kopfschmerzen	36
2.3.3. Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Schlafstörungen sowie Müdigkeit	44
2.3.4. Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf kognitive Funktionen	59
2.3.5. Weitere Befindlichkeitsstörungen die mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Zusammenhang gebracht werden	68
3. Das Phänomen der „Elektrosensibilität“	75
3.1. Definition	75
3.2. Prävalenz und Symptome	76
3.2.1. Erhebungsinstrumente.....	77
3.3. Studien zum Phänomen der „Elektrosensibilität“	78
3.3.1. Provokationsstudien	78
3.3.2. Wahrnehmung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks.....	79
3.3.3. Symptome aufgrund elektromagnetischer Felder des Mobilfunks	80
3.3.4. Fazit	80
3.4. Die Entstehung von „Elektrosensibilität“	81
3.4.2. Mögliche Rolle psychosozialer Faktoren	82
3.4.3. Entstehungsmodelle der Elektrosensibilität	84

3.5. Gesamtfazit	87
4. <i>Vulnerabilität von Kindern und Jugendlichen</i>	90
5. <i>Angewandte Methoden</i>	92
5.1. Planung und Ablauf der Studie	92
5.2 Durchführung der Befragung	92
5.2.1. Stichprobenrekrutierung	93
5.2.2. Kontaktierung der Probanden.....	94
5.3 Ablauf der Feldphase	95
5.3.1. Maßnahmen zur Qualitätssicherung.....	98
5.4 Expositionserfassung	99
5.4.1. Personenbezogene Expositionserfassung	99
5.4.2. Überprüfung der nächtlichen Messwerte	102
5.4.3. Durchführung von 5-Tages-Messungen zur Überprüfung der Repräsentativität der bei der 24h-Messung erhobenen Exposition	104
5.4.4. Ermittlung der Bestimmungsgrenze der Personendosimeter	105
5.4.5. Festlegung des Expositionsmaßes.....	108
5.4.6. Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Dosimetermessungen	110
5.5. Subjektive Expositionsabschätzung.....	110
5.6. Zusammenstellung der Erhebungsinstrumente.....	111
5.6.1. Akute gesundheitliche Beschwerden, allgemeine Befindlichkeit und potentielle Störgrößen	113
5.6.2. Potenzielle Störgrößen	115
5.7 . Statistische Analysen.....	118
5.7.1. Statistischer Auswertungsplan.....	118
5.7.2. Einteilung der Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag	120
5.7.3. Quantifizierungskonzept für die Hauptanalysen	124
5.7.4. Quantifizierungskonzept für die Sensitivitätsanalysen	125
5.7.5. Problem des multiplen Testens	126
5.7.6. Deskriptive und bivariate Darstellung	126
5.7.7. Bildung der logistischen Regressionsmodelle	127
5.7.8. Nicht-parametrische Regression	129
6. <i>Darstellung der Ergebnisse</i>.....	130
6.1. Vergleich von Teilnehmern und Nichtteilnehmern.....	130
6.2. Darstellung der deskriptiven Ergebnisse	135
6.2.1. Ausschöpfung der untersuchten Stichprobe.....	135

6.2.2. Soziodemographische Daten.....	143
6.2.3. Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks	145
6.2.3. Selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition.....	148
6.2.4. Prävalenz chronischer und akuter Beschwerden	151
6.2.5. Umwelt- und Mobilfunkbesorgnis.....	155
6.2.6. Ergebnis der 5-Tages-Messungen zur Überprüfung der Repräsentativität der bei der 24h-Messung erhobenen Exposition.....	157
6.3. Darstellung der bivariaten Ergebnisse	160
6.3.1. Assoziation zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und selbstberichteten Beschwerden	160
6.3.2. Assoziation zwischen a-priori definierten Confoundern und chronischer Müdigkeit	170
6.3.3. Assoziation zwischen a-priori definierten Confoundern und Wachexposition.....	172
6.4. Multivariate Ergebnisse der logistischen Regression	175
6.4.1. Hauptanalysen	175
6.4.2. Sensitivitätsanalysen	185
6.4.3. Nicht-parametrische Regression	186
6.4.4. Zusatzauswertung: Zusammenhang zwischen der gemessenen Wachexposition und Hyperaktivität	186
7. Diskussion	186
7.1. Diskussion der Methoden	186
7.1.1. Studiendesign	186
7.1.2. Ausschöpfung und Repräsentativität der Stichprobe	186
7.1.3. Vergleich von Teilnehmern und Nichtteilnehmern.....	186
7.1.4. Fragebogeninstrumente.....	186
7.1.5. Auswahl potenzieller Störgrößen (Confounder)	186
7.1.6. Expositionserfassung mittels Personendosimetrie	186
7.2. Diskussion der statistischen Methoden.....	186
7.2.1. Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze	186
7.2.2. Verwendung des mittleren prozentualen Anteils am Grenzwert als Expositionsmaß.....	186
7.2.3. Einteilung der Exposition	186
7.2.4. Aufteilung der Exposition in drei Frequenzbereiche	186
7.3. Diskussion der deskriptiven Ergebnisse	186
7.3.1. Angaben zu Mobiltelefon-Besitz und -Nutzung	186
7.3.2. Exposition der Kinder und Jugendlichen gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunkbereichs	186
7.3.3. Mobilfunkbesorgnis	186
7.3.4. Selbst eingeschätzte Exposition	186
7.3.5. Akute und chronische Beschwerden	186

7.4. Ergebnisse der logistischen Regression.....	186
7.4.1. Assoziation zwischen der gemessenen, personenbezogenen Gesamtexposition und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen	186
7.4.2. Assoziation zwischen der selbsteingeschätzten Exposition und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen	186
7.4.3. Assoziation zwischen der gemessenen, personenbezogenen Exposition getrennt nach Frequenzbereich und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen	186
7.4.4. Assoziation zwischen der gemessenen, personenbezogenen Exposition und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen – Einteilung der Wachexposition am 90%-Perzentil.....	186
7.4.5. Assoziation zwischen den erfassten Störgrößen und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen	186
7.4.6. Ausblick.....	186

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Übertragungsweg des Mobilfunks	24
Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Zunahme der Mobilfunk-Teilnehmer (in Mio.) sowie der Anteil der Mobilfunkkunden an der Gesamtbevölkerung (in %) in Deutschland	27
Abbildung 3: Ausbreitung elektromagnetischer Felder	32
Abbildung 4: Metaanalytische Effektgrößen (Δ) und Konfidenzintervalle	64
Abbildung 5: Vorschlag eines Erklärungsmodells für „Elektrosensibilität“	85
Abbildung 6: Modell für den Zusammenhang zwischen subjektiver und objektiver Exposition durch elektromagnetische Felder und Gesundheit	86
Abbildung 7: Darstellung der Studienorte und der Feldphase	93
Abbildung 8: Zeitlicher Ablauf der Kontaktaufnahme	95
Abbildung 9: Ablauf der Untersuchung	97
Abbildung 10: Teilnahmeverlauf während der ersten 3 Anschreibewellen in München	98
Abbildung 11: Das Personendosimeter ESM-140	100
Abbildung 12: Typisches Messprofil über 24 h	101
Abbildung 13: Korrelation zwischen den nächtlichen ortsfesten Messwerten und den Messwerten während des Schlafzimmerrundgangs für die Kinder	103
Abbildung 14: Korrelation zwischen den nächtlichen ortsfesten Messwerten und den Messwerten während des Schlafzimmerrundgangs für die Jugendlichen	103
Abbildung 15: Wirkungsmodell	116
Abbildung 16: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Vormittagsexposition	122
Abbildung 17: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Nachmittagsexposition	123
Abbildung 18: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Vormittagsexposition	123
Abbildung 19: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Nachmittagsexposition	124
Abbildung 20: Verteilung der Gründe für einen Ausfall bei den Kindern	137
Abbildung 21: Verteilung der Gründe für einen Ausfall bei den Jugendlichen	137
Abbildung 22: Verteilung der Gründe für die Nicht-Teilnahme bei den Kindern	139
Abbildung 23: Verteilung der Gründe für die Nicht-Teilnahme bei den Jugendlichen	139
Abbildung 24: Teilnahmebereitschaft am Kurzfragebogen und Interview in den vier Studienorten	140
Abbildung 25: Zeitdifferenz zwischen dem Erhalt des Kurzfragebogens und dem Interview (in Tagen) bei den Kindern	142

Abbildung 26: Zeitdifferenz zwischen dem Erhalt des Kurzfragebogens und dem Interview (in Tagen) bei den Jugendlichen	142
Abbildung 27: Mittlere Gesamtexposition während der Wachphase und den Tagesabschnitten Vormittag und Nachmittag in Prozent des ICNIRP-Grenzwerts	145
Abbildung 28: Anteil der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (alle Einzel- frequenzen < 0,05 V/m) in Prozent während der Wachphase und den Tagesabschnitten Vormittag und Nachmittag	146
Abbildung 29: Prävalenz und 95%-Konfidenzintervall der chronischen Beschwerden in Prozent	151
Abbildung 30: Prävalenz und 95%-Konfidenzintervall der akuten mittäglichen und abendlichen Beschwerden in Prozent	153
Abbildung 31: Mittlere Gesamtexposition während der Wachphase an den verschiedenen Wochentagen in Prozent des ICNIRP-Grenzwerts	157
Abbildung 32: Relative Häufigkeit chronischer Müdigkeit in Abhängigkeit von der Wachexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	161
Abbildung 33: Relative Häufigkeit chronischer Gereiztheit in Abhängigkeit von der Wachexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	161
Abbildung 34: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Kopfschmerzen in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	163
Abbildung 35: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Kopfschmerzen in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	163
Abbildung 36: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Gereiztheit in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	165
Abbildung 37: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Gereiztheit in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	165
Abbildung 38: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Nervosität in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	167
Abbildung 39: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Nervosität in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	167
Abbildung 40: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Müdigkeit in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	169
Abbildung 41: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Müdigkeit in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen	169
Abbildung 42: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Kinder	176
Abbildung 43: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Jugendlichen	176

Abbildung 44: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Kinder	178
Abbildung 45: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Kinder	178
Abbildung 46: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Jugendlichen	179
Abbildung 47: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Jugendlichen	179
Abbildung 48: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Kinder	181
Abbildung 49: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Jugendlichen	181
Abbildung 50: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Kinder in Abhängigkeit von der Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8h (Referenzkategorie: ≤ 5 min (OR=1))	183
Abbildung 51: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Kinder in Abhängigkeit von der Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8h (Referenzkategorie: ≤ 5 min (OR=1))	183
Abbildung 52: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Jugendlichen	184
Abbildung 53: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Jugendlichen	184
Abbildung 54: Nichtparametrische Effektschätzer mit 95%-Konfidenzintervall für die Wachexposition im generalisierten additiven Modell der Kinder (Zielgröße chronische Müdigkeit)	186
Abbildung 55: Nichtparametrische Effektschätzer mit 95%-Konfidenzintervall für die Wachexposition im generalisierten additiven Modell der Jugendlichen (Zielgröße chronische Müdigkeit)	186

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Frequenzen und Grenzwerte im Mobilfunkbereich	26
Tabelle 2: Übersicht über Human-Laborstudien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Kopfschmerzen	54
Tabelle 3: Übersicht über epidemiologische Studien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Kopfschmerzen sowie Schlafstörungen und Müdigkeit	54
Tabelle 4: Übersicht über Human-Laborstudien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Schlafstörungen und Müdigkeit	57
Tabelle 5: Übersicht über Human-Laborstudien zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf kognitive Funktionen	72
Tabelle 6: Übersicht über epidemiologische Studien zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf kognitive	74
Tabelle 7: Überblick über Provokationsstudien zur Wahrnehmung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und durch sie bedingte Symptomentstehung	88
Tabelle 8: Technische Daten des Maschek Dosimeters.....	99
Tabelle 9: Bestimmungsgrenzen der Dosimeter getrennt nach Frequenzband in V/m	107
Tabelle 10: Erhebungsinstrumente der zu untersuchenden Variablen	112
Tabelle 11: Beschwerden-Tagebuch zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit für Kinder und Jugendliche	114
Tabelle 12: Fragen zu den chronischen Beschwerden.....	115
Tabelle 13: Fragen zur Erfassung der Umweltbesorgnis.....	117
Tabelle 14: Assoziation zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und Befinden.....	118
Tabelle 15: Akute und chronische Beschwerden	119
Tabelle 16: Übersicht über verschiedene Methoden zur Einteilung der Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag.....	120
Tabelle 17: Quantifizierungskonzept für die Haupt- und die Sensitivitätsanalysen	126
Tabelle 18: A-priori definierte potentielle Störgrößen	128
Tabelle 19: p-Werte für die bivariate Assoziation zwischen nicht verwendeten Einflussgrößen und der Wachexposition	129
Tabelle 20: Non-Response Analyse für die Eltern der Kinder: Vergleich der Eltern, die nur den Kurzfragebogen ausgefüllt haben („Nichtteilnehmer“) mit solchen, die auch an der Feldphase teilnahmen („Teilnehmer“).	132

Tabelle 21: Non-Response Analyse für die Jugendlichen: Vergleich der Jugendlichen, die nur den Kurzfragebogen ausgefüllt haben („Nichtteilnehmer“) mit solchen, die auch an der Feldphase teilnahmen („Teilnehmer“)	134
Tabelle 22: Ausschöpfung von Brutto- und Nettostichprobe und Verteilung der Gründe für Ausfall und Nicht-Teilnahme.....	136
Tabelle 23: Soziodemographische Daten: Angaben der Kinder bzw. deren Eltern und der Jugendlichen aus dem Interview	144
Tabelle 24: Vergleich der mittleren Gesamtexposition während der Wachphase in den Studienorten.....	147
Tabelle 25: Vergleich des Anteils der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze während der Wachphase in den Studienorten	148
Tabelle 26: Selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition durch Basisstationen – Angaben der Eltern der Kinder und der Jugendlichen aus dem Kurzfragebogen bzw. aus dem Interview.....	149
Tabelle 27: Selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition durch Eigentelefonate am Untersuchungstag – Angaben der Kinder und der Jugendlichen aus dem Expositionstagebuch	150
Tabelle 28: Vergleich der Prävalenz chronischer Beschwerden in den Studienorten	152
Tabelle 29: Vergleich der Prävalenz akuter Beschwerden in den Studienorten.....	154
Tabelle 30: Umwelt- und Mobilfunkbesorgnis – Angaben der Eltern der Kinder und der Jugendlichen aus dem Interview	156
Tabelle 31: Paarweise Übereinstimmung der Expositionsquartile an verschiedenen Wochentagen.....	159
Tabelle 32: Prävalenz der chronischen Müdigkeit in Abhängigkeit von der Ausprägung der a-priori definierten Confounder (Kinder)	171
Tabelle 33: Prävalenz der chronischen Müdigkeit in Abhängigkeit von der Ausprägung der a-priori definierten Confounder (Jugendliche).....	172
Tabelle 34: Relative Häufigkeit der Probanden mit einer Wachexposition im jeweiligen Quartil in Abhängigkeit von der Ausprägung der Confounder (Kinder)	173
Tabelle 35: Relative Häufigkeit der Probanden mit einer Wachexposition im jeweiligen Quartil in Abhängigkeit von der Ausprägung der Confounder (Jugendliche)...	174
Tabelle 36: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Kopfschmerzen bei den Kindern.....	186

- Tabelle 37:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Kopfschmerzen bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 38:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Gereiztheit bei den Kindern 186
- Tabelle 39:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Gereiztheit bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 40:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Nervosität bei den Kindern 186
- Tabelle 41:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Nervosität bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 42:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischem Schwindel bei den Kindern 186
- Tabelle 43:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischem Schwindel bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 44:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Angst bei den Kindern 186
- Tabelle 45:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Angst bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 46:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Einschlafproblemen bei den Kindern 186
- Tabelle 47:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Einschlafproblemen bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 48:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Müdigkeit bei den Kindern 186

- Tabelle 49:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Müdigkeit bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 50:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Mittag bei den Kindern 186
- Tabelle 51:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Abend bei den Kindern..... 186
- Tabelle 52:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Mittag bei den Jugendlichen..... 186
- Tabelle 53:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Abend bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 54:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Mittag bei den Kindern..... 186
- Tabelle 55:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Abend bei den Kindern 186
- Tabelle 56:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Mittag bei den Jugendlichen..... 186
- Tabelle 57:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Abend bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 58:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Mittag bei den Kindern..... 186
- Tabelle 59:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Abend bei den Kindern 186
- Tabelle 60:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Mittag bei den Jugendlichen 186

- Tabelle 61:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Abend bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 62:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Mittag bei den Kindern..... 186
- Tabelle 63:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Abend bei den Kindern 186
- Tabelle 64:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Mittag bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 65:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Abend bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 66:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Mittag bei den Kindern... 186
- Tabelle 67:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Abend bei den Kindern .. 186
- Tabelle 68:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Mittag bei den Jugendlichen 186
- Tabelle 69:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Abend bei den Jugendlichen..... 186
- Tabelle 70:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Mittag bei den Kindern..... 186
- Tabelle 71:** Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Abend bei den Kindern 186

Tabelle 72: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Mittag bei den Jugendlichen	186
Tabelle 73: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Abend bei den Jugendlichen	186
Tabelle 74: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Wachexposition und chronischen Beschwerden bei den Kindern.....	186
Tabelle 75: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Wachexposition und chronischen Beschwerden bei den Jugendlichen	186
Tabelle 76: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Vormittagsexposition und akuten mittäglichen Beschwerden bei den Kindern	186
Tabelle 77: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Nachmittagsexposition und akuten abendlichen Beschwerden bei den Kindern	186
Tabelle 78: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Vormittagsexposition und akuten mittäglichen Beschwerden bei den Jugendlichen	186
Tabelle 79: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Nachmittagsexposition und akuten abendlichen Beschwerden bei den Jugendlichen	186
Tabelle 80: Fragen zur Hyperaktivität	186
Tabelle 81: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der Wachexposition und Hyperaktivität bei den Kindern	186
Tabelle 82: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der Wachexposition und Hyperaktivität bei den Jugendlichen.....	186
Tabelle 83: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Exposition in Quartilen und chronischen sowie akuten Beschwerden für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen (Odds Ratio mit 95% Konfidenzgrenzen) ..	186
Tabelle 84: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der selbst eingeschätzten Entfernung zur nächsten Basisstation und chronischen Beschwerden für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen (Odds Ratio mit 95% Konfidenzgrenzen)	186

Tabelle 85: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Mobiltelefon- und DECT-Nutzung und akuten Beschwerden für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen (Odds Ratio mit 95% Konfidenzgrenzen)..... 186

Zusammenfassung

Ein großer Teil der Bewohner Bayerns ist besorgt über mögliche Effekte der Mobilfunkstrahlung auf die Gesundheit. Eine Erfassung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks und eine adäquate Beurteilung möglicher adverser Effekte auf die Gesundheit können nur durch die gemeinsame Betrachtung und Bewertung möglichst aller Expositionsquellen erfolgen. Personenbezogene Umweltmessungen, um die Summe der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks im Alltag zu beurteilen und mögliche nachteilige Effekte für die Gesundheit zu ermitteln, fehlten bislang. Daneben fokussieren bisherige Studien zum Thema Mobilfunk und Gesundheit vorwiegend Erwachsene. Ziel der hier durchgeführten Studie war es daher, einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und dem Befinden erstmalig bei Kindern und Jugendlichen personenbezogen zu untersuchen.

Hierzu wurde eine Querschnittsuntersuchung an einer repräsentativen Stichprobe von 1.498 Kindern (8-12 Jahre) und 1.524 Jugendlichen (13-17 Jahre) aus vier bayerischen Städten (München, Augsburg, Rosenheim, Landsberg) durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden personenbezogene Messungen der individuellen Mobilfunkexposition über 24 Stunden durchgeführt und die subjektiven gesundheitlichen Beschwerden im Interview sowie mittels Tagebuch zweimal am Untersuchungstag erfasst. Als Zielgrößen dienten das allgemeine Befinden in den letzten 6 Monaten (u.a. Schlafstörungen, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Nervosität) sowie das mittels Tagebuch zweimal am Untersuchungstag erfasste akute Befinden. Die Gesamtexposition über alle Frequenzbereiche des Mobilfunks wurde als mittlerer prozentualer Anteil am Grenzwert berechnet. Die statistischen Analysen wurden unter Berücksichtigung potenzieller Störgrößen für den untersuchten Zusammenhang mittels logistischer Regression durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die mittlere Mobilfunkexposition bei Kinder und Jugendlichen deutlich unter den in Deutschland gültigen Grenzwerten lag, im Mittel bei 0,18% des Grenzwertes bei den Kindern und 0,19% bei den Jugendlichen. Des Weiteren zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den vier Untersuchungsorten; die mittlere Exposition stieg mit der Größe des Studienorts leicht an.

Bei den meisten chronischen und akuten Beschwerden zeigte sich in der Gruppe der Jugendlichen eine höhere Prävalenz als bei den Kindern. Die höchste Prävalenz bei den chronischen Beschwerden war bei der „Müdigkeit“ zu verzeichnen (30% (Kinder) bzw. 51% (Jugendliche)), gefolgt von der „Gereiztheit“ (21% bzw. 32%). Auch bei den akuten Beschwerden dominierte die „Müdigkeit“, erwartungsgemäß vor allem am Abend. Die akuten Beschwerden „Konzentrationsprobleme“ und „Kopfschmerzen“ wiesen die nächst höchsten Prävalenzen auf.

Es zeigten sich insgesamt sowohl für die Kinder als auch für die Jugendlichen keine statistisch signifikanten konsistenten Zusammenhänge zwischen der gemessenen Exposition und den betrachteten chronischen und akuten Beschwerden. Dies galt sowohl für die Hauptanalysen, in denen die gemessene Exposition in Quartile eingeteilt wurde, als auch für die Sensitivitätsanalysen, in denen einmal die Exposition getrennt nach Frequenzbereichen betrachtet wurde und einmal die 10% höchst Exponierten mit dem Rest verglichen wurden. Im Gegensatz dazu wurden zum Teil Assoziationen zwischen der subjektiv von den Probanden berichteten Exposition und einigen selbst berichteten Beschwerden beobachtet.

Zusammenfassend zeigt diese Untersuchung eine niedrige Mobilfunkexposition über 24 Stunden bei Kindern und Jugendlichen. Insgesamt gibt die vorliegende Studie keine konsistenten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und dem gesundheitlichen Befinden bei Kindern und Jugendlichen

Summary

Despite the increase of mobile phone use in the last decade and the growing concern whether cellular phone networks adversely affect health and well-being, only few studies have been published that focussed on children and adolescents. Especially children and adolescents are important in the discussion of adverse health effects because of their possibly higher vulnerability to high-frequency electromagnetic fields.

We investigated a possible association between exposure to mobile telecommunication networks and well-being in children and adolescents using personal dosimetry. A population-based sample of 1.498 children (aged between 8-12) and 1.524 adolescents (aged between 13-17) was assembled for the study (response 52%). Participants were randomly selected from the population registries of four Bavarian (South of Germany) cities and towns with different population sizes. During a Computer Assisted Personal Interview data on participants' well-being, socio-demographic characteristics and potential confounder were collected. Acute symptoms were assessed three times during the study day (morning, noon, evening). Using a dosimeter (ESM-140 Maschek Electronics), we obtained an exposure profile over 24 hours for three frequency ranges (measurement interval 1 second, limit of determination 0.05 V/m) for each of the participants. Exposure levels over waking hours were summed up and expressed as mean percentage of the ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) reference level.

The overall exposure to high frequency electromagnetic fields of children and adolescents was markedly below the ICNIRP reference level. Median exposure for adolescents was 0.19% and 0.18% or children. Exposure varied by the size of the town of residence. Median exposure levels during waking hours were highest in Munich and lowest in the smallest town (Landsberg). We did not find an consistent association between measured exposure and chronic or acute symptoms, neither for children nor for the adolescents. This applied for the main analysis, where measured exposure was divided into quartiles, as well as for the sensitivity analysis, where exposure was on the one hand evaluated separately for the three frequency bands and on the other hand exposure was considered a binary cut-off (90% percentile). Regarding the self reported data on exposure (distance to mobile phone base

station, mobile phone and DECT use) some association to self reported symptoms was seen.

In summary, this study is the first to use personal dosimetry to assess the individual exposure to mobile telecommunication networks in children and adolescents, enabling objective assessment of exposure from all sources. We found an exposure to mobile telecommunication networks far below the current ICNIRP reference levels. No consistent association between exposure to mobile telecommunication networks and well-being in children and adolescents was found.

1. Einleitung

Die Nutzung von Mobiltelefonen hat in den vergangenen Jahren weltweit stark zugenommen. Laut der aktuellsten Umfrage des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) von 2006 nutzen in Deutschland 82 Prozent der Männer und 71 Prozent der Frauen ein Mobiltelefon (Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2006). In der Bevölkerung bestehen jedoch gleichzeitig Befürchtungen, dass elektromagnetische Felder des Mobilfunks die Gesundheit und das Wohlbefinden bereits bei Feldstärken weit unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte beeinträchtigen könnten (Revermann 2003). So beschreiben sich 27% der vom BfS befragten Personen als besorgt im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks, 9% fühlen sich durch diese beeinträchtigt (Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2006).

Bei den Anwohnern lösen besonders die von den Mobilfunkbasisstationen erzeugten elektromagnetischen Felder Besorgnis aus, da sie diese nicht selbst beeinflussen können (Hutter, Moshammer et al. 2004). Viele Betroffene klagen über unspezifische Symptome, die sie in Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Mobilfunkbasisstationen vermuten. Hierzu gehören insbesondere Kopfschmerzen, Nervosität, Schlafstörungen, Konzentrations- und Gedächtnisstörungen, Appetitlosigkeit sowie Tinnitus (Hocking 1998; Oftedal, Wilén et al. 2000).

Trotz der bestehenden Besorgnis in der Öffentlichkeit haben bisher nur wenige epidemiologische Studien untersucht, ob elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen gesundheitliche Effekte verursachen können. Hauptproblem der vorliegenden Studien war die mangelnde Expositionserfassung (Santini, Santini et al. 2002; Navarro, Segura et al. 2003). Hutter und seine Kollegen haben in einer Pilotstudie versucht, sich diesem Problem zu nähern, indem sie Messungen in den Schlafzimmern der Probanden durchgeführt haben, um die Exposition durch die Mobilfunkbasisstationen zu bestimmen (Hutter, Moshammer et al. 2006). Ein Problem dieser Art der Expositionserfassung liegt u.a. darin, dass die elektromagnetischen Felder von Mobilfunkbasisstationen über die Zeit variieren.

Berg et al. überprüften in einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie ebenfalls mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen. Zwar nutzten sie für die Expositionserfassung ein

Personendosimeter, dieses wurde jedoch ebenfalls für stationäre Messungen im Schlafzimmer genutzt. Es fanden sich keine Zusammenhänge zwischen der Exposition durch Mobilfunkbasisstationen und den untersuchten Beschwerden (Berg, Breckenkamp et al. 2007). Zu berücksichtigen ist, dass Messungen im Schlafzimmer nur einen Teil der Gesamtexposition eines Probanden wiedergeben.

Bislang liegt nur eine Studie vor, bei der die Exposition gegenüber Feldern des Mobilfunksbereiches – gemeint sind hier das Mobil- und DECT-Telefon, Mobilfunkbasisstationen sowie WLAN - mittels personenbezogener Messungen durchgeführt wurde. Ziel dieser Studie war die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Mobilfunkexposition und dem Befinden bei Erwachsenen. Insgesamt wurden personenbezogene Messungen und Interviews an 329 Erwachsenen aus vier bayerischen Städten durchgeführt. Die Ergebnisse ergaben eine Gesamtexposition weit unterhalb der geltenden Grenzwerte (höchste Gesamtexposition in München: 0,41% des Grenzwerts). Für die betrachteten akuten und chronischen Befindlichkeitsstörungen konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang belegt werden. (Thomas, Kühnlein et al. 2008)

Ziel der hier vorliegenden Studie war die Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Mobilfunkexposition und dem Befinden von Kindern und Jugendlichen. Vor allem Kinder und Jugendliche nehmen in der Diskussion um gesundheitliche Effekte durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks einen besonderen Stellenwert ein, da sie möglicherweise sensibler gegenüber diesen Feldern sind als Erwachsene. Trotz einer möglicherweise erhöhten Vulnerabilität wurden die bisherigen Studien zur Thematik hauptsächlich an Erwachsenen durchgeführt.

Innerhalb der vorliegenden Studie wurden personenbezogene Messungen über 24 Stunden an 1498 Kindern sowie 1524 Jugendlichen durchgeführt. Parallel dazu wurden die Befindlichkeit sowie die akuten und allgemeinen Beschwerden der Teilnehmer erfasst. Zusätzlich ergaben sich Informationen über die typische Exposition von Kindern und Jugendlichen gegenüber Mobilfunkfrequenzen.

2. Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung¹

2.1. Hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks

2.1.1 Allgemeines zum Thema Mobilfunk

Beim Mobilfunk handelt es sich um ein System, welches die Übertragung von Sprache und Daten zwischen mehreren Teilnehmern ermöglicht. Die Übertragung erfolgt dabei mittels elektromagnetischer Wellen. Die elektromagnetischen Wellen, die für den Mobilfunk genutzt werden, zählen zu den nichtionisierenden Strahlen. Diese unterscheidet man u. a. in niederfrequente und hochfrequente elektromagnetische Felder. Die niederfrequenten elektromagnetischen Felder erstrecken sich auf den Bereich bis 30 KHz und umfassen z.B. die Frequenzen um 50 Hertz im Haushaltsbereich. Der Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder reicht von 30 KHz bis 300 GHz und umfasst u.a. den Mobilfunk sowie Rundfunk und Fernsehen. (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 2002; Revermann 2003; Otto und von Mühlendahl 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007)

Zurzeit wird in Deutschland zur digitalen Signalverarbeitung beim Mobilfunk noch in erster Linie das sogenannte Global System for Telecommunication (GSM) eingesetzt. Der Frequenzbereich für das D-Netz liegt um 900 MHz und für das E-Netz um 1800 MHz. Daneben gibt es seit einigen Jahren das sogenannten Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), welches eine schnellere Datenübertragung gewährleistet. Im Gegensatz zum GSM-Standard nutzen alle Teilnehmer eines Netzes die gleiche Frequenz in einem Frequenzband. Der für das UMTS-System reservierte Frequenzbereich liegt zwischen 1900 und 2170 MHz, also etwas oberhalb des E-Netzes.

Neben den Mobiltelefonen gibt es weitere Kommunikationstechnologien wie z.B. das DECT-Telefon (Digital Enhanced Cordless Telephone) oder WLAN (Wireless Local Area Network), welche ebenfalls zum Bereich der hochfrequenten Felder gehören. DECT-Telefone sind schnurlose Telefone für Haus und Garten (Reichweite bis etwa

¹ In Anlehnung an die Dissertationen von Dipl.-Psych. Sabine Heinrich, Dipl.-Statistikerin Anja Kühnlein, Dipl.-Päd. Silke Thomas, MPH (in Vorbereitung)

300 m), die Sprache aus dem normalen Telefonnetz per Funk zum Hörer übertragen. Digitale Schnurlostelefone basieren auf dem sogenannten DECT-Standard. Im DECT-Standard ist vorgesehen, dass die Station ständig sendet, unabhängig davon, ob gerade ein Gespräch geführt wird oder nicht. Beim WLAN handelt es sich um Netzwerke, die ohne Kabelverbindungen arbeiten und die zur Datenübertragung entweder Funk oder Infrarot einsetzen. (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 2005; Otto und von Mühlendahl 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2006; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007)

2.1.2. Das Mobilfunksystem und die Übertragungswege des Mobilfunks

Um mit einem Mobiltelefon Sprache und Daten übertragen zu können, ist ein Mobilfunknetz erforderlich (IZMF 2005). Dieses Netz ist in sogenannte Funkzellen eingeteilt. Jede dieser Funkzellen wird von einer Mobilfunkbasisstation versorgt, welche sowohl als Sende- als auch als Empfangsstation dient. Die Zellengröße und die Zahl der Basisstationen hängen u.a. von der Nutzerdichte ab. Eine große Nutzerzahl erfordert ein dichteres Mobilfunknetz und somit auch mehr Basisstationen. (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 2002; Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007)

Die Verbindung zwischen zwei Mobilfunkgeräten erfolgt stets über die Basisstation. Diese sorgt dafür, dass ein Sprach- oder Datensignal in ein hochfrequentes Signal umgesetzt wird und dann über eine Mobilfunkantenne als Funkwelle ausgesendet wird. Die Funkwellen des Mobilfunks breiten sich wie Lichtwellen geradlinig aus und werden daher genauso wie das Licht durch Hindernisse oder geografische Gegebenheiten beeinflusst. Dazu gehören Bebauungen (Gebäude, Tunnel), die topografischen Gegebenheiten (Berge, Bäume) oder auch die Witterungsbedingungen (Regen, Nebel).

Bei einem Verbindungsaufbau wird das Funksignal in Form von elektromagnetischen Wellen zur nächsten Basisstation gesendet, welche wiederum die Informationen an einen Zentralrechner sendet, der die Vermittlungsfunktion übernimmt. Je nach angewähltem Teilnehmer wird eine Verbindung ins Festnetz oder in diejenige

Funkzelle aufgebaut, in der sich der angewählte Teilnehmer befindet. Die Basisstation dieser Zelle sendet dann das Signal per Funk an die gewünschten Teilnehmer. (Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) 2005; Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) 2005; Otto und von Mühlendahl 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007)



Abbildung 1: Der Übertragungsweg des Mobilfunks (Otto und von Mühlendahl 2005)

2.1.3. Grenzwerte im Mobilfunkbereich

Um gesundheitliche Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder auszuschließen, wurden Grenzwertempfehlungen erarbeitet, wobei alle wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Wirkungen sowohl thermischer als auch nichtthermischer Natur berücksichtigt wurden. Die Grenzwerte basieren auf Empfehlungen der „Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung“ (ICNIRP) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Auch die Europäische Union stützt ihre Ratsempfehlung aus dem Jahr 1999 auf diese internationalen Empfehlungen. (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 2005)

Unterschieden wird zwischen Basisgrenzwerten und Referenzgrenzwerten. Die Basisgrenzwerte beziehen sich auf die bekannten thermischen Effekte, als Maß

hierfür dient die spezifische Absorptionsrate (SAR). Um eine Überexposition bei Einwirken der Felder auf begrenzte Körperregionen zu vermeiden, wurden Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Damit wird auch berücksichtigt, dass einzelne Körperteile (beim mobilen Telefonieren beispielsweise die Kopfregion) stärker der elektromagnetischen Strahlung ausgesetzt sind und Körperteile unterschiedlich empfindlich sind. Da die Messung der Basisgrenzwerte sehr aufwendig ist, wurden zusätzlich Referenzgrenzwerte für die leichter zu messenden elektrischen und magnetischen Feldstärken festgesetzt. (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 2005; Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007)

Die abgeleiteten Grenzwerte für Mobilfunkbasisstationen sind in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) rechtlich verankert. Vor Inbetriebnahme einer Basisstation muss eine Bescheinigung vorgelegt werden, in der neben den technischen Daten der Anlage auch Angaben über die Sicherheitsabstände gemacht werden, ab denen die durch die 26. BImSchV vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden. (Revermann 2003; Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007)

Einen Überblick über die im Mobilfunkbereich verwendeten Frequenzen und Leistungen sowie die geltenden Grenzwerte gibt die folgende Tabelle 1:

Tabelle 1: Frequenzen und Grenzwerte im Mobilfunkbereich

(vgl. <http://www.bfs.de/de/elektro/hff/grundlagen.html>)

Netz/ Anwendung	Frequenz	Referenzwert EU	Grenzwert (26. BImSchV)
D-Netz (GSM 900)			
Mobiltelefon	890 - 960 MHz	2 W/kg (Rumpf u. Kopf)	
Basisstation	890 - 960 MHz	4,5-4,8 W/m ²	42 V/m
E-Netz (GSM 1800)			
Mobiltelefon	1710-1880 MHz	2 W/kg (Rumpf u. Kopf)	
Basisstation	1710-1880 MHz	8,6-9,4 W/m ²	57 V/m
DECT			
Mobiltelefon	1880-1900 MHz	2 W/kg (Rumpf u. Kopf)	
Basisstation	1880-1900 MHz	0,08 W/kg (Ganzkörper)	
UMTS			
Mobiltelefon	1920-1980 MHz	2 W/kg (Rumpf u. Kopf)	
Basisstation	2110-2170 MHz	10 W/m ²	61 V/m
WLAN			
	2400-2480 MHz	0,08 W/kg (Ganzkörper)	

Bei Einhaltung der geltenden Grenzwerte gibt es nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine Hinweise auf gesundheitsschädliche Wirkungen. Durch die definierten Basisgrößen werden die oben genannten Schwellenwerte von der Allgemeinbevölkerung vielmehr um den Faktor 50 unterschritten (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 2005; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2007).

2.1.4. Mobiltelefonbesitz und Mobiltelefonnutzung

Galt das Mobiltelefon Anfang der 90er Jahre noch als Prestigeobjekt, welches finanzielle Unabhängigkeit symbolisierte, hat es sich heutzutage zu einem alltäglichen und allgegenwärtigen Gebrauchsgegenstand entwickelt, welcher beim Organisieren des Alltags vor allem bei jungen Menschen unabkömmlich scheint (Ling 2002). Mit der Einführung des digitalen Mobilfunknetzes auf GSM-Basis im Jahr 1992 nahm die Verbreitung der Mobiltelefone rasch zu (Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) 2005). Die seitdem wachsende Popularität des Mobiltelefons hat dazu geführt, dass heute fast jeder Deutsche ein Mobiltelefon besitzt. So verfügten

laut dem Statistischen Bundesamt im Jahr 2006 rund 81% der deutschen Haushalte über mindestens ein Mobiltelefon. Im Jahr 2000 lag der Ausstattungsgrad noch bei knapp 30% (Statistisches Bundesamt 2007).

Die folgende Abbildung 2 verdeutlicht ebenfalls den starken Zuwachs seit der Einführung der digitalen Mobilfunkdienste. So wurden bspw. im Jahr 2007 97 Millionen Mobilfunkverträge abgeschlossen, im Jahr 1993 waren es hingegen nur 1,8 Millionen Verträge. Auch an der Penetrationsrate (Anteil der Mobilfunkkunden an der Gesamtbevölkerung) ist der Anstieg deutlich zu erkennen. Lag diese im Jahr 1990 bei 0,3% so stieg sie im Jahr 2007 bis 118% an. Dies bedeutet, dass auf 100 Einwohner 118 Mobilfunkverträge kamen.

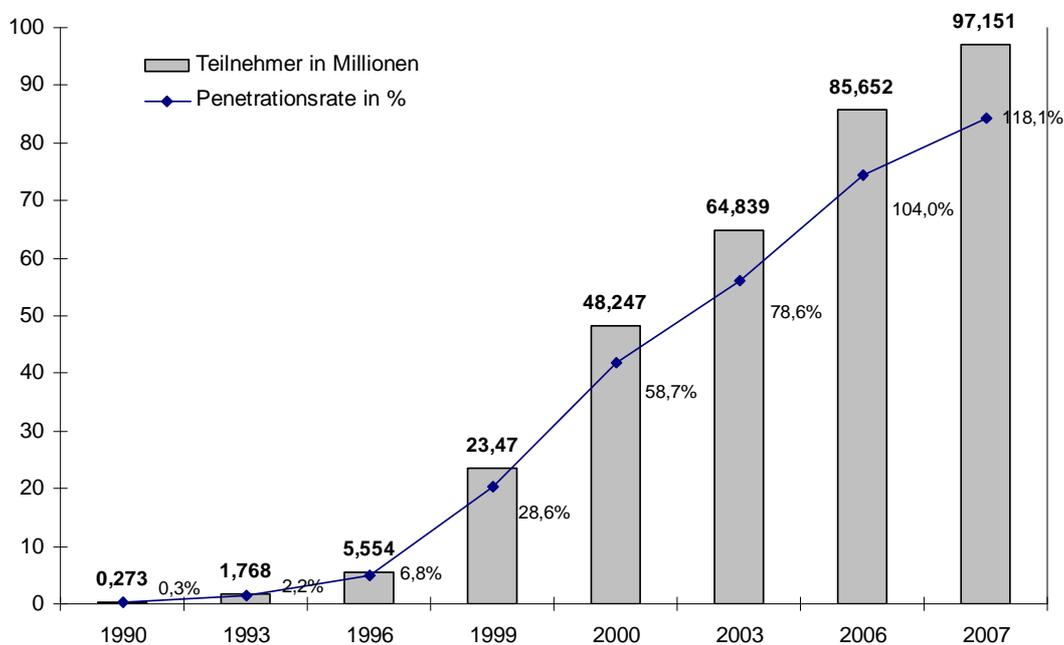


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Zunahme der Mobilfunk-Teilnehmer (in Mio.) sowie der Anteil der Mobilfunkkunden an der Gesamtbevölkerung (in %) in Deutschland

Vor allem in Haushalten mit Kindern kann man heute von einer Vollausrüstung mit Mobiltelefonen sprechen. So verfügten im Jahr 2006 rund 98% der Haushalte von Paaren mit mindestens einem Kind über mindestens ein Mobiltelefon. In Ein-Personen-Haushalten lag der Ausstattungsgrad hingegen bei 64%. (Statistisches Bundesamt 2007)

Im internationalen Vergleich erscheint Deutschland als ein Land mit überdurchschnittlich hoher Anzahl von Kindern und Jugendlichen, die ein

Mobiltelefon besitzen und nutzen. Vor allem bei den Jugendlichen hat die Beschäftigung mit elektronischen Medien seit Mitte der 90er Jahre einen immer größeren Stellenwert in der Freizeitgestaltung eingenommen und das Mobiletelefon ist das bei den Jugendlichen im eigenen Besitz am weitesten verbreitete Medium (Oksanen 2002, Ling 2001, Geser 2006). Im Vergleich zu 1998, als lediglich 8% der Jugendlichen ein Mobiltelefon besaßen, verfügten im Jahr 2006 94% der Jugendlichen über ein eigenes Mobiltelefon (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2007). Mädchen besitzen und nutzen häufiger ein Mobiltelefon als Jungen (Madell 2006; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2007; Punamäki, Wallenius et al. 2007; Söderqvist und Hardell 2007).

Während die Bedeutung des Mobiltelefons im Alltag Jugendlicher sehr hoch ist, ist die Nutzung im Kindesalter noch deutlich geringer und steigt mit dem Alter an (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2006; Söderqvist und Hardell 2007). Dennoch gewinnt die Mediennutzung auch bei Kindern immer mehr an Aktualität und stellt für die meisten heute eine Selbstverständlichkeit dar. Die zunehmende Bedeutung des Mobiltelefons in den jüngeren Altersgruppen lässt sich daran erkennen, dass laut der KIM-Studie von 2006 bereits 44% der Kinder in Deutschland zwischen 6-13 Jahren über ein Mobiltelefon verfügten. In einer von Böhler & Schüz 2004 an Grundschulen durchgeführten Studie gaben nur 35% der Kinder an, ein eigenes Mobiltelefon zu besitzen. In drei internationalen Studien aus Norwegen, Schweden und Ungarn war die Ausstattung sogar erheblich höher. So besaßen in der schwedischen und der norwegischen Studie bereits mehr als die Hälfte der 10-Jährigen ein eigenes Mobiltelefon, in der ungarischen Studie gaben gar 76% der befragten Kinder an, ein eigenes Mobiltelefon zu besitzen (Mezei, Benyi et al. 2007; Söderqvist und Hardell 2007).

Der Anstieg von Zugang und Nutzung mit dem Alter kann möglicherweise dadurch erklärt werden, dass das Mobiltelefon bei den jüngeren Kindern als Notfalltelefon fungiert und sie dieses nur bei sich haben, damit sie in Notfällen von den Eltern erreicht werden können bzw. diese anrufen können.

2.2. Expositionserfassung von Mobilfunkexposition²

In den meisten der bisherigen epidemiologischen Studien stellte die Bestimmung der Mobilfunkexposition ein großes Problem dar. Problem dieser verschiedenen Ansätze war eine mögliche Missklassifikation der Probanden. Diese Missklassifikation kann dazu führen, dass hoch exponierte Personen fälschlicherweise als niedrig oder nicht exponiert eingeschätzt werden und umgekehrt.

2.2.1. Mobilfunknutzung

In der Regel wurden im Rahmen eines Interviews Häufigkeit und Dauer der Eigentelefonate mit dem Mobiltelefon (manchmal zusätzlich DECT) seit Beginn der ersten Nutzung erfragt. Eine retrospektive Erfassung der Exposition über Angaben der Probanden bezüglich der Mobilfunkbenutzung erweist sich aber aufgrund eines möglichen Erinnerungsfehlers/Recall-Bias als problematisch. Validierungsstudien zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Angaben verglichen die Angaben der Probanden mit den Daten der Netzbetreiber oder benutzten speziell modifizierte Mobiltelefone, bei denen die Nutzungsdauer genau aufgezeichnet wurde. Die Auswertungen weisen darauf hin, dass die Angaben der Probanden nicht vollständig mit ihren tatsächlichen Mobiltelefon-Gewohnheiten übereinstimmen. So ergab sich in der sechsmonatigen Studie von **Parslow et al.** (2003) eine Überschätzung der Anzahl und der Dauer der Mobiltelefonate (Parslow, Hepworth et al. 2003).

In einer deutschen Validierungsstudie unterschätzten die Studienteilnehmer die Anzahl ihrer Anrufe pro Tag nur leicht, die durchschnittliche Dauer der Gespräche überschätzten sie jedoch wesentlich deutlicher. Die Autoren schätzten die Angaben der Studienteilnehmer als einigermaßen zutreffend ein. Allerdings wird die Zuverlässigkeit der Probandenangaben in dieser Studie wahrscheinlich überschätzt, da es sich bei den Studienteilnehmern um besonders motivierte Personen gehandelt haben dürfte (Selektionsbias). Zudem war der Zeitraum von drei Monaten relativ kurz und die Teilnehmer achteten während der Studie vermutlich mehr auf ihre Telefoniergewohnheiten als sonst (Zambange-Zeeb 2004).

² In Anlehnung an die Dissertationen von Dipl.-Psych. Sabine Heinrich, Dipl.-Statistikerin Anja Kühnlein, Dipl.-Päd. Silke Thomas, MPH (in Vorbereitung)

Virjheid et al 2006 kombinierten die Ergebnisse von elf Validierungsstudien, die im Rahmen der Interphone-Studie zur Häufigkeit von Hirntumoren bei Mobiltelefonnutzern durchgeführt wurden. Es zeigten sich große Unterschiede zwischen den einzelnen Teilnehmern. Die Werte variierten von Unterschätzung um den Faktor 8 bis zur achtfachen Überschätzung. Die Gesprächsdauer wurde im Mittel um 42% überschätzt. Personen, die ihr Mobiltelefon wenig benutzten, unterschätzten ihren Mobilfunkgebrauch, Personen mit stärkerer Benutzung neigten zur Überschätzung. Die Autoren beurteilten die Korrelation zwischen erinnertem und tatsächlichem Mobiltelefongebrauch insgesamt als mäßig bis hoch. Da es sich bei den Probanden der Validierungsstudien wohl um besonders motivierte Personen handelte und zudem nur ein relativ kurzer Zeitraum von sechs Monaten untersucht wurde, schlussfolgerten die Autoren, dass die Mobilfunknutzungsangaben der Probanden in der Interphone-Gesamtstudie noch weniger zutreffend sein könnten.

Das schlechte Erinnerungsvermögen der Probanden (Recall-Bias) bewirkt eine nicht-differentielle Missklassifikation, welche die statistische Power der Studie reduziert und somit das Entdecken eines vorhandenen Effekts erschwert (Auvinen 2006; Vrijheid, Deltour et al. 2006). Das Problem eines auftretenden Recall-Bias gestaltet sich besonders kritisch, wenn dieser zu einer differentiellen Missklassifikation führt (Schüz und Michaelis 2001). So neigen erkrankte Personen, z.B. Tumorpatienten, dazu ihre frühere Exposition zu überschätzen, was wiederum zu einer Überschätzung des zu untersuchenden Risikos führt.

Die Verwendung der Daten der Mobilfunknetzbetreiber wäre somit eigentlich eine bessere Lösung des Problems, leider speichern gerade in Deutschland die Mobilfunkbetreiber nur die ausgehenden Anrufe. In einer wissenschaftlichen Studie müssen natürlich aber auch die eingehenden Anrufe berücksichtigt werden (Blettner, Berg et al. 1999).

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Sendeleistung eines Mobiltelefons je nach Abstand zur Basisstation, SAR-Wert des Mobiltelefons, Empfangsqualität und Benutzung einer Freisprecheinrichtung sehr unterschiedlich ausfallen kann. Auch die Region, in der das Telefonat geführt wird, spielt eine Rolle. **Hillert et al.** (2006) überprüften in einer Pilotstudie zur Expositionsabschätzung von Mobiltelefonnutzern Faktoren, die das Ausmaß der Exposition durch Eigentelefonate beeinflussen. Den größten Einfluss auf die Sendeleistung hatte der Faktor städtische versus ländliche

Region. Der Zeitanteil, in dem das Mobiltelefon mit einer Sendeleistung von 1 bzw. 2 Watt/kg arbeitete, war in ländlichen Gegenden vier- bis fünfmal höher als in städtischen Regionen. Beim Telefonieren in einem fahrenden Auto war die Sendeleistung höher als bei Außenbenutzung, aber niedriger als in einem Gebäude. (Hillert, Ahlbom et al. 2006) Eine Studie von **Lönn et al.** (2004) zeigte, dass der Zeitanteil an Telefonaten mit einer Sendeleistung von 2 Watt/kg in ländlichen Gebieten doppelt so hoch war wie in Städten. Somit sind die Angaben zur Mobilfunknutzung oftmals kein ausreichend adäquates Expositionsmaß. (Lönn, Forssen et al. 2004)

2.2.2. Selbst eingeschätzter Abstand zur nächsten Basisstation

In einigen Studien wurde mittels eines Interviews oder Fragebogens erhoben, wie weit die Probanden von der nächsten Mobilfunkbasisstation entfernt wohnen (Navarro, Segura et al. 2003). Die Feldstärke von Mobilfunkstrahlung sinkt mit dem Quadrat der Entfernung zur Sendeantenne (Leute 2002). Aus verschiedenen Gründen besteht ebenfalls das Problem der Missklassifikation bei der Expositionsbestimmung. Zum einen ist es wahrscheinlich, dass Personen, die ihre Symptome auf elektromagnetische Felder des Mobilfunks zurückführen, verstärkt auf das Vorhandensein von Basisstationen achten und daher den Abstand vermutlich geringer einschätzen als er tatsächlich ist. Zum anderen werden Antennen von Basisstationen von den Anwohnern oftmals gar nicht als solche erkannt, da sie nicht sichtbar installiert sind.

Des Weiteren wird die Exposition einer Mobilfunkbasisstation nicht allein vom räumlichen Abstand bestimmt. Abschirmeffekte, Reflektionen und topographische Begebenheiten sowie die Sendeleistung und Hauptstrahlrichtung der Basisstation können zu erheblichen örtlichen Schwankungen der vorhandenen Feldstärken führen (siehe Abbildung 3). So kann eine Person, die in unmittelbarer Nähe einer Basisstation wohnt, einer viel geringeren Exposition ausgesetzt sein als eine Person in beispielsweise 200 Meter Entfernung.

Der Abstand zur Mobilfunkbasisstation ergibt somit keine zuverlässige Schätzung der vorhandenen Exposition (Schüz und Mann 2000).

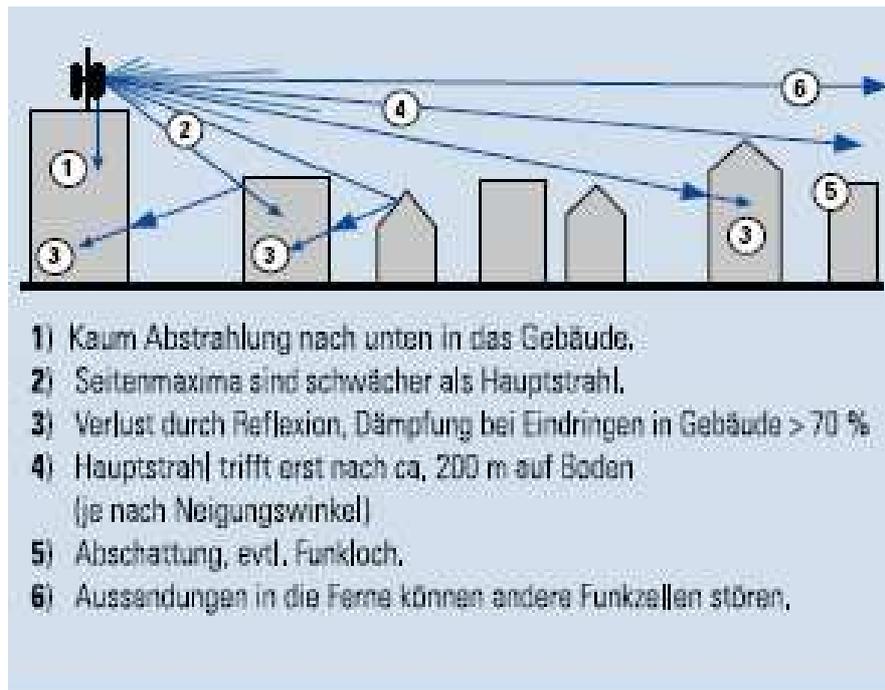


Abbildung 3: Ausbreitung elektromagnetischer Felder (aus StMUGV 2007)

In verschiedenen Studien konnte auch gezeigt werden, dass die über die selbst eingeschätzte Entfernung zur nächsten Basisstation erhobene Mobilfunkexposition nicht mit der tatsächlich vorhandenen Exposition der Probanden übereinstimmte. So zeigte sich in der Studie von Radon et. al. (2006) keine Assoziation zwischen dem selbstberichteten Abstand zur nächsten Mobilfunkbasisstation und der von einem Personendosimeter gemessenen Exposition. In einer anderen Studie wurde anhand von Geokoordinaten der Abstand der Wohnung der Probanden zur nächsten Basisstation berechnet. Lediglich 21% der Probanden, die nach den Berechnungen in einem Abstand von 500 Metern zur nächsten Basisstation wohnten, waren in der Lage, dies richtig anzugeben (Berg, Breckenkamp et al. 2007).

2.2.3. Stationäre Messungen

In anderen Studien wurde versucht, das Problem einer validen Expositionserfassung durch stationäre Messungen z.B. in den Schlafräumen der Probanden (Hutter, Moshammer et al. 2002, Hutter, Moshammer et al. 2006) zu lösen. Bei stationären Messungen ist allerdings eine erhebliche Spannweite der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Messinstruments, der örtlichen Position, der

Höhe des Messpunkts, der Witterung, der Jahreszeit und der Verwendung unterschiedlicher Messsonden (Berg, Breckenkamp et al. 2004) möglich. Sie stellen somit nur zeitlich begrenzte Punktmessungen dar und sind somit keine gute Schätzung für die durchschnittliche Exposition, da sich ein Mensch nicht den ganzen Tag über an der gleichen Stelle aufhält und zudem verschiedenen Expositionen mit unterschiedlichen Frequenzen ausgesetzt ist. Die persönliche Exposition kann durch Einflüsse außerhalb der Wohnumgebung stark beeinflusst werden z.B. durch berufliche Exposition und durch Eigentelefonate.

Zudem ist die Durchführung stationärer Messungen bei jedem einzelnen Probanden sehr teuer und zeitaufwändig (Blettner, Berg et al. 1999). Wird nur an einem Hauptaufenthaltsort gemessen, kann dies zu einer Missklassifikation des Probanden (exponiert oder nicht-exponiert) führen, da die Strahlen anderer Quellen stärker sein können und auch die zeitliche Variation der elektromagnetischen Felder sowie die Mobilität der Personen nicht ausreichend berücksichtigt werden kann (Schüz und Mann 2000; Bornkessel, Schubert et al. 2007).

2.2.4. Berechnung der Exposition

Eine weitere Möglichkeit zur Expositionsbestimmung der Bevölkerung in der Umgebung von Basisstationen ist die Nutzung spezieller Computerverfahren. Diese nutzen detaillierte Informationen und technische Daten über die vorhandenen Basisstationen, deren Hauptstrahlrichtung und Leistung, bauliche Gegebenheiten in der Umgebung um die Exposition rechnerisch abzuschätzen. Solche Verfahren wurden unter anderem im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms entwickelt und erprobt (Neitzke, Osterhoff et al. 2004; Bornkessel, Schubert et al. 2007; Bornkessel, Schubert et al. 2007; Neitzke, Osterhoff et al. 2007).

Das Problem einer nicht möglichen individuellen Expositionsbestimmung erschwert die Interpretation der bisherigen Ergebnisse epidemiologischer Studien. Aus demselben Grund gibt es bisher auch nur wenige Feldstudien. Die genaue Expositionsbestimmung war nur im Laborsetting möglich. Da sich die Ergebnisse aus Laborstudien aber nicht ohne weiteres auf den menschlichen Alltag übertragen lassen, ist es für eine Erweiterung des derzeitigen Erkenntnisstandes wesentlich, auch epidemiologische Feldstudien durchzuführen. Ein internationales Expertengremium betonte daher die Notwendigkeit der Entwicklung von

Personendosimetern, um eine individuelle valide Expositionserfassung zu ermöglichen, sowie die Notwendigkeit alle relevanten Quellen hochfrequenter Strahlung zu erfassen (Neubauer, Feychting et al. 2007).

2.2.5. Personendosimetrie

Erst durch die Entwicklung von Personenmessgeräten wurde das Problem der bisher invaliden Expositionsbestimmung gelöst. Erstmals wurde die personenbezogene Dosimetrie in einer deutschen Pilotstudie erprobt, die das neu entwickelte ESM-140-Dosimeter der Firma Maschek verwendete. (Radon, Spegel et al. 2006; Spegel, Meyer et al. 2006). Mit dem Personendosimeter steht jetzt eine valide Methode zur Objektivierung der erfahrenen individuellen Exposition zur Verfügung, so dass eine Querschnittsstudie zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen akuten gesundheitlichen Effekten und elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks durchgeführt werden kann.

2.3. Mobilfunk und Gesundheit

2.3.1. Thermische und athermische Effekte des Mobilfunks

Die thermische Wirkung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist unumstritten. Sie dient als Grundlage für die Grenzwertfestlegung zum Schutz vor adversen Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Bei Einhaltung der empfohlenen ICNIRP-Grenzwerte sind thermische Wirkungen auszuschließen. So führt beispielsweise die Exposition durch ein Mobiltelefon nur zu lokalen Temperaturerhöhungen knapp unter 0,1° Celsius. Die Exposition durch eine Mobilfunkbasisstation bewirkt Temperaturerhöhungen von wenigen hunderttausendstel Grad, die allerdings praktisch nicht mehr messbar sind (Hutter, Moshhammer et al. 2001).

Umstritten ist nach wie vor die Frage, ob hochfrequente elektromagnetische Felder über die thermischen Effekte hinaus noch weitere Auswirkungen auf den Körper haben. Unter diesen so genannten athermischen Effekten versteht man „mögliche Auswirkungen der elektromagnetischen Felder [...], die zwar keine Temperaturerhöhung im Körper hervorrufen (also unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle liegen), möglicherweise jedoch andere Auswirkungen haben“ (Revermann 2003, S. 44). Entsprechende Wirkungsmechanismen sind allerdings bisher nicht bekannt.

In diesem Zusammenhang ist die Unterscheidung zwischen einem biologischen Effekt und einer negativen gesundheitlichen Auswirkung wichtig. Unter einem biologischen Effekt versteht man „eine messbare (jedoch nicht notwendigerweise schädliche) physiologische Reaktion im biologischen System auf eine Exposition durch elektromagnetische Felder“ (Revermann 2003, S. 42). Eine negative Auswirkung auf die Gesundheit hingegen „ist ein biologischer Effekt, dessen Wirkungen (Folgen) über die normale physiologische Kompensationsfähigkeit des Körpers hinausgehen und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Schädigungen führen“ (Revermann 2003, S. 42/43). Ein biologischer Effekt der Strahlung des Mobilfunks muss sich also nicht zwangsläufig negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken.

Im Zusammenhang mit Mobilfunkstrahlung werden zahlreiche potentielle adverse Effekte auf die Gesundheit diskutiert wie beispielsweise:

- Krebs
- Kognitive Funktionsstörungen
- Herz- und Kreislaufprobleme
- EEG- Veränderungen und Schlafstörungen
- Hören/Tinnitus und Sehstörungen
- Wirkungen auf das kardiovaskuläre System und den Hormonhaushalt

Die bisherigen Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung geben jedoch keine einheitlichen Hinweise auf gesundheitlich relevante Effekte. Bisher wurde auch kein plausibler und möglicher Wirkungsmechanismus gefunden mit dem eine athermische Wirkung von elektromagnetischen Feldern erklärt werden könnte (Seitz, Stinner et al. 2005; Seitz, Stinner et al. 2005; Otto und von Mühlendahl 2007).

Trotzdem berichten viele betroffene Personen über unspezifische akute Symptome wie Kopfschmerzen und Schlafstörungen, die sie mit Mobilfunkexposition in Zusammenhang bringen. Die Definition der WHO von Gesundheit („Health is a state of complete physical, mental and social well-being, not merely the absence of disease or infirmity“; Repacholi 2001, S. 324) beinhaltet, dass Gesundheit eine wichtige subjektive Komponente enthält. Dies muss besonders bei der Bewertung von möglichen Gesundheitsrisiken durch Mobilfunkstrahlung berücksichtigt werden. Befindlichkeitsstörungen haben zwar keine lebensbedrohlichen Auswirkungen, dennoch führen sie bei den betroffenen Personen zu einer starken Beeinträchtigung der Lebensqualität, die ernst genommen werden muss. Die Prävalenz von Befindlichkeitsstörungen ist in der Allgemeinbevölkerung relativ hoch (Danker-Hopfe und Dorn 2005).

2.3.2. Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Kopfschmerzen

Die Prävalenz von Kopfschmerzen ist in der Allgemeinbevölkerung relativ hoch. **Stovner et al.** (2006) berichteten für Europa eine Einjahresprävalenz von 51% sowie weltweit von 46%. Damit sind Kopfschmerzen unter den ersten zehn der die

Gesundheit beeinträchtigenden Faktoren, bei Frauen sogar unter den ersten fünf. Bereits bei Kindern und Jugendlichen treten Kopfschmerzen relativ häufig auf. (Stovner, Zwart et al. 2006) In der Studie von **Kröner-Herwig et al.** (2007) ergab sich eine 6-Monatsprävalenz für Kopfschmerzen von 53,2% bei 7-14 Jährigen in Deutschland. Das Auftreten von Kopfschmerzen erhöht sich dabei mit steigendem Alter von 39% bei den 7 Jährigen bis zu 63% bei den 14 Jährigen. (Kröner-Herwig, Heinrich et al. 2007) **Fendrich et al.** (2007; 69,4% bei 12-15 Jährigen in Deutschland) und **Roth-Isigkeit et al.** (2004; 65,5% bei deutschen 10-18 Jährigen) berichten vergleichbar hohe 3-Monatsprävalenzen (Fendrich, Vennemann et al. 2007; Roth-Isigkeit, Thyen et al. 2004).

Kopfschmerzen sind ein Symptom, welches sehr häufig in Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks genannt wird. Im Rahmen einer Schweizer Studie an 394 Personen, die Befindlichkeitsstörungen auf elektromagnetische Feldern zurückführen, wurden Kopfschmerzen mit 41% am zweithäufigsten angegeben (Röösli, Moser et al. 2004). Am häufigsten wurden mit 58% Schlafstörungen genannt. Bei einer vergleichbaren Studie in Deutschland mit allerdings geringerer Personenzahl (n = 158) waren Kopfschmerzen jedoch nicht unter den sieben am häufigsten genannten Beschwerden (Schüz, Petters et al. 2004).

Neben den Studien bezüglich eventueller negativer Auswirkungen von Mobiltelefonnutzung wurden auch Untersuchungen zur Überprüfung eines möglichen Effekts von elektromagnetischen Feldern durch Mobilfunkbasisstationen durchgeführt. Diese Unterscheidung ist sinnvoll, da sich die elektromagnetischen Felder von Mobiltelefonen und Mobilfunkbasisstationen unterscheiden. Die Felder der Basisstationen liegen in einem anderem Frequenzbereich, sie werden (im Gegensatz zur kürzeren Dauer von Eigentelefonaten) rund um die Uhr ausgestrahlt und liegen weit unter den Feldstärken eines Mobiltelefons. Daneben handelt es sich bei der Exposition durch ein Mobiltelefon um eine Telkörperexposition (vorwiegend der Kopfbereich) und bei der Exposition durch eine Mobilfunkbasisstation um eine Ganzkörperexposition. Hierbei ist eine Einteilung in Human-Laborstudien und epidemiologische Studien möglich.

Laborstudien

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder bei Mobiltelefonnutzung auf Kopfschmerzen

Koivisto et al. (2001) untersuchten in zwei einfach-blinden Laborstudien an je 48 Probanden den Einfluss elektromagnetischer Felder eines digitalen GSM-Mobiltelefons (902 MHz; 0,25 W) auf subjektive Symptome bei gesunden Probanden. Diese bewerteten die Stärke der bei ihnen auftretenden Symptome (Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Hautrötungen etc.). Die Ergebnisse zeigten keinen Unterschied zwischen der Expositions- und der Kontrollbedingung. (Koivisto, Haarala et al. 2001)

Oftedal et al. (2007) fanden in einer doppelblinden Provokationsstudie an 17 Probanden, die sich selbst als elektrosensibel gegenüber Mobiltelefonexposition einschätzten, ebenfalls keinen Hinweis darauf, dass die Exposition (902,4 MHz; SAR = 1 W/kg) bei den Probanden Kopfschmerzen verursachte (Oftedal, Straume et al. 2007).

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf Kopfschmerzen

In einer experimentellen Studie von **Zwamborn et al.** (2003), der sog. TNO-Studie, zeigte sich weder bei gesunden noch bei sich selbst als elektrosensibel einschätzenden Probanden ein Unterschied bezüglich Kopfschmerzen bei An- bzw. Abwesenheit elektromagnetischer Felder, wie sie von Mobilfunkbasisstationen gesendet werden (Versuchsbedingungen: keine Exposition, 900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz mit jeweils einer Intensität von 1 V/m) (Zwamborn, Vossen et al. 2003). Eine Schweizer Replikationsstudie (Regel, Negovetic et al. 2006) dieser Studie kam zu einem vergleichbaren Ergebnis.

Eine Übersicht aller hier dargestellten Laborstudien zum Thema eines möglichen Einflusses von Mobilfunkstrahlung auf Kopfschmerzen findet sich in Tabelle 2.

Epidemiologische Studien

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder bei Mobiltelefonnutzung auf Kopfschmerzen

Viele der bisher durchgeführten Studien fanden einen Zusammenhang zwischen den elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Kopfschmerzen. **Hocking** führte 1998 in Australien eine Befragung (an lediglich 40 Personen) zu Symptomen durch, die auf die Mobiltelefonnutzung zurückgeführt wurden. Die Symptome der Befragten (z.B. dumpfer Kopfschmerz) fingen gewöhnlich Minuten nach Beginn des Telefonats an und hörten meist innerhalb einer Stunde danach wieder auf.

Insbesondere in Norwegen und Schweden berichteten viele Bürger von unspezifischen Symptomen wie Kopfschmerzen, Konzentrationsschwierigkeiten etc. die sie in Verbindung mit der Nutzung eines Mobiltelefons brachten. **Oftedal et al.** (2000) führten bezüglich dieser geschilderten Befindlichkeitsstörungen eine epidemiologische Querschnittsstudie an 17.000 Personen durch, die beruflich ein Mobiltelefon benutzen. 31% der befragten Norweger und 13% der befragten Schweden berichteten Symptome, die sie mit der Nutzung des Mobiltelefons in Zusammenhang brachten. Am häufigsten wurden unter anderem Kopfschmerzen genannt. Die meisten Symptome begannen dabei nach Eigenangaben während oder innerhalb einer halben Stunde nach dem Telefonat und dauerten bis zu zwei Stunden an. Zudem ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Telefonierdauer und -häufigkeit und der Prävalenz von emf-bezogenen Symptomen. (Oftedal, Wilén et al. 2000)

Am selben Probandenkollektiv verglich die Arbeitsgruppe von **Sandström et al.** (2001) die geschilderten Symptome von Benutzern eines analogen mit denen eines digitalen (GSM-Standard) Mobiltelefons. Die Hypothese der Autoren, dass die Benutzer eines GSM-Mobiltelefons (aufgrund gepulster Strahlung und höherer Intensität) eine höhere Prävalenz von Symptomen wie Kopfschmerzen haben könnten, konnte nicht bestätigt werden. Für einige Symptome ging der Trend für GSM-Nutzer sogar in Richtung eines niedrigeren Risikos. Es ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Telefonierdauer sowie -häufigkeit und der Prävalenz mehrerer Symptome, unter anderem auch für Kopfschmerzen. (Sandström, Wilen et al. 2001) Eine höhere Telefonierdauer und -häufigkeit könnten jedoch Anzeichen für beruflichen Stress sein, welcher wiederum

Symptome wie Kopfschmerzen etc. auslösen kann. So zeigte sich in einer Studie von **Herr et al.** (2005), dass Personen mit größerer Arbeits- und Stressbelastung häufiger ein Mobiltelefon benutzen (siehe auch 2.3.3) (Herr 2005).

Eine weitere Auswertung Datensatzes von **Sandtsröm et al.** (2001) zeigte, dass die Häufigkeit einiger Symptome wie Kopfschmerzen mit einem höheren SAR-Wert des von den Probanden benutzten Mobiltelefons ($> 0,5 \text{ W/kg}$) korreliert war, vor allem bei längerer Gesprächsdauer pro Tag. Es konnte allerdings aufgrund der geringen Fallzahl nicht nach den von **Sandström et al.** (2001) gefundenen Confoundern adjustiert werden, was einen methodischen Mangel darstellt (Wilen, Sandstrom et al. 2003).

In einer Querschnittsuntersuchung von **Chia et al.** (2000) wurde an über 800 Probanden untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen neuronalen Symptomen und der Mobiltelefonnutzung besteht. Kopfschmerzen wurden von Nutzern statistisch signifikant häufiger berichtet als von Nicht-Mobiltelefonnutzern. Die Ergebnisse zeigten zudem, dass Kopfschmerzen mit der Gesprächsdauer korrelierten. Zudem wies die Untergruppe der Mobiltelefonnutzer, welche nie eine Freisprecheinrichtung nutzten, die höchste Prävalenz für Kopfschmerzen unter den Mobiltelefonnutzern auf. Bezüglich der anderen betrachteten Symptome konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Vorhandene methodische Mängel sind hier eine relativ niedrige Teilnahmebereitschaft (daher möglicher Selektions-Bias) sowie die Tatsache, dass keine weiteren Kopfschmerz auslösenden Einflussfaktoren (wie z.B. beruflicher Stress) berücksichtigt wurden. (Chia, Chia et al. 2000)

In einer französischen Querschnittsstudie berichteten Mobilfunkbesitzer dagegen nicht häufiger Kopfschmerzen als Probanden, die kein Mobiltelefon nutzten (Santini, Seigne et al. 2001).

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf Kopfschmerzen

In einer epidemiologischen Studie erfassten **Santini et al.** (2002) in Frankreich bei 530 Personen unter anderem die geschätzte Distanz zur Mobilfunkbasisstation und selbstberichtete Befindlichkeitsstörungen. Wie die Teilnehmer rekrutiert wurden, ist in der Studie nicht adäquat beschrieben. Bezüglich einer Teilnehmer- oder einer Non-Responder-Analyse wurden ebenfalls keine Angaben gemacht. Die Einteilung der Probanden in verschiedene Expositionsgruppen geschah nach der selbst

eingeschätzten Entfernung zur Mobilfunkbasisstation. Mögliche Störgrößen scheinen nicht in die Auswertung eingegangen zu sein. Diese zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Nähe zur Basisstation und der Symptomprävalenz, welche sich mit wachsendem Abstand verringerten. Außerdem ergab die Auswertung, dass Anwohner im Umkreis von bis zu 200 Metern Entfernung von der Mobilfunkbasisstation signifikant häufiger an Kopfschmerzen litten als nach eigener Einschätzung „nicht-exponierte“ und Anwohner, die nach eigener Angabe in über 300 Metern Entfernung zur Mobilfunkbasisstation wohnten. (Santini, Santini et al. 2002)

Navarro et al. (2003) untersuchten 2001 in Spanien die Bewohner einer Stadt mit einer Mobilfunkbasisstation (1800 MHz). Bezüglich der Rekrutierung der Probanden werden keine näheren Angaben gemacht. 70% der angeschriebenen Personen nahmen teil, was 5% der Gesamteinwohnerzahl entsprach. Mittels eines Fragebogens wurden die gesundheitlichen Beschwerden der Teilnehmer sowie soziodemographische Daten und der selbst berichtete Abstand zur Basisstation etc. erfasst. 101 Personen wurden in die Auswertung miteinbezogen (47% Männer und 53% Frauen ab einem Alter von 15 Jahren). Diese zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen der selbsteingeschätzten Entfernung zur Basisstation und der Symptommhäufigkeit (unter anderen Kopfschmerzen). Mögliche Störgrößen wie Eigentelefonate scheinen bei der Auswertung nicht berücksichtigt worden zu sein. Aufgrund der schwerwiegenden methodischen Mängel sollte man die Ergebnisse der beiden zuletzt dargestellten Studien nicht kausal interpretieren. (Navarro, Segura et al. 2003)

In weiteren Feldstudien wurde versucht, vor allem das Problem der Missklassifikation durch eine unvalide Expositionsabschätzung zu vermeiden. In Österreich führten **Hutter et al.** (2002 und 2006) eine Pilotstudie bezüglich der möglichen Auswirkungen der Exposition von Mobilfunkbasisstationen auf die Gesundheit durch. Untersucht wurden Anwohner von zehn Basisstationen (900 MHz). Die Untersuchung umfasste neben der Erhebung von soziodemographischen Daten, Mobiltelefonnutzung, Gesundheitszustand, Besorgnis bezüglich verschiedener Umweltfaktoren etc. auch Erinnerungs- und Reaktionstests. Insgesamt nahmen 336 Personen im Alter zwischen 18 und 91 Jahren teil (davon 59 % Frauen). Die Auswahl der Probanden erfolgte zufällig über das Telefonnummernregister. Die Autoren geben an, dass etwas über 40% der kontaktierten Personen, die Teilnahme verweigerten. Eine stationäre Messung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks fand in den

Schlafzimmern der Probanden statt und die Messresultate fielen mit Intensitäten zwischen $0,0001$ und $0,57 \text{ mW/m}^2$ recht gering aus. Der höchste Messwert entsprach umgerechnet ungefähr einem Prozent des in Deutschland gültigen Grenzwerts. Mögliche Störgrößen wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Für Probanden der höchsten Expositionskategorie zeigte sich eine statistisch signifikant höhere Prävalenz für Kopfschmerzen. (Hutter, Moshhammer. et al. 2002; Hutter, Moshhammer et al. 2006)

Im Rahmen einer dreimonatigen experimentellen Feldstudie untersuchten **Heinrich et al.** (2007), ob die elektromagnetischen Felder einer UMTS-Mobilfunkbasisstation einen Einfluss auf die Befindlichkeit von Personen haben, deren Arbeitsplatz sich in unmittelbarer Umgebung der Basisstation befand. Die Sendeanlage wurde im Rahmen der Doppelblindung nach einem Zufallsplan über einen Zeitraum von drei Monaten ein- und ausgeschaltet. Mittels eines Online-Fragebogens wurde täglich erfasst, ob die 95 Probanden in der Lage waren die elektromagnetischen Felder der Basisstation wahrzunehmen und welche Beschwerden bei Ihnen auftraten. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der vorhandenen Exposition in den Büros der Teilnehmer und den berichteten Befindlichkeitsstörungen (unter anderem auch Kopfschmerzen). (Heinrich, Ossig et al. 2007)

Im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms (<http://www.emf-forschungsprogramm.de>) wurden in einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen überprüft. Bei 1500 Personen erfolgte die Messung der Exposition mittels Personendosimeter der Firma Antennessa in den Schlafzimmern der Teilnehmer. Es fanden sich keine Zusammenhänge zwischen der Exposition und den einbezogenen gesundheitlichen Beschwerden wie Kopfschmerzen (Berg, Breckenkamp et al. 2007).

Thomas et al. (2008 (Thomas, Kühnlein et al. 2008)) untersuchten eine bevölkerungsbezogene Zufallsstichprobe von 329 Erwachsenen. Die Exposition der Teilnehmer (Frequenzen von Mobiltelefonen und Basisstationen sowie DECT und WLAN) wurde mittels eines Personendosimeters jeweils über einen Zeitraum von 24 Stunden erfasst. Parallel dazu wurden chronische Beschwerden sowie am Untersuchungstag auftretende akute Beschwerden erhoben. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesamtexposition der Probanden und chronischen oder akuten Kopfschmerzen. Abgesehen von einer

Pilotstudie (Radon, Spegel et al. 2004; Spegel, Meyer et al. 2006) ist dies die erste epidemiologische Studie, in der Personendosimetrie zur Abschätzung der individuellen Exposition von Mobilfunkfrequenzen verwendet wurde. Dies ermöglichte erstmals die Berücksichtigung aller Expositionsquellen inklusive Eigentelefonate, Telefonate von Personen in der Umgebung, Felder von Mobilfunkbasisstationen, schnurloses Telefon zuhause und WLAN). Des Weiteren konnte die individuelle Exposition an allen Aufenthaltsorten der Probanden (zuhause, Schule, Arbeit, Freizeit) während des Messzeitraums berücksichtigt werden.

Eine Übersicht aller hier dargestellten epidemiologischen Studien zum Thema eines möglichen Einflusses von Mobilfunkstrahlung auf Kopfschmerzen findet sich in Tabelle 3.

Fazit

Die Ergebnisse der bisherigen Studien sind inkonsistent. Bezüglich eines Zusammenhangs zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Kopfschmerzen gibt es zwar mehr Hinweise auf eine mögliche Assoziation als bei anderen Symptomen, trotz allem ist eine abschließende Bewertung schwierig. So weisen die vorhandenen epidemiologischen und experimentellen Studien z.T. sehr unterschiedliche Fragestellungen, Designs und Methodiken auf und sind so nur begrenzt miteinander vergleichbar. Des Weiteren lag in den meisten der epidemiologischen Studien keine valide Expositionsabschätzung für die Gesamtheit der elektromagnetischen Felder des Mobilfunkbereichs vor. Diese kann nur durch den Einsatz von Personendosimetrie erreicht werden.

Weitere Studien mit ausreichend großer Fallzahl, valider Expositionsabschätzung und Adjustierung für Confounder sind notwendig um die Frage einer möglichen Assoziation zu klären. Auch ist bisher kein plausibler Wirkungsmechanismus bekannt, der die Entstehung von Befindlichkeitsstörungen durch die Einwirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks mit Intensitäten weit unterhalb der geltenden Grenzwerte erklären könnte (Seitz, Stinner et al. 2005; Seitz, Stinner et al. 2005; Otto und von Mühlendahl 2007).

Alle in diesem Kapitel dargestellten Studien wurden an erwachsenen Probanden durchgeführt. Bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Kopfschmerzen gibt es noch keine Studien an Kindern und Jugendlichen.

2.3.3. Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Schlafstörungen sowie Müdigkeit

Bei Schlafstörungen und Müdigkeit handelt es sich um zwei Befindlichkeitsstörungen, welche sich oft gegenseitig bedingen. Sie wurden daher hier zu einer Symptomgruppe zusammengefasst. Die berichteten Prävalenzen für Schlafstörungen variieren in Studien aus den USA, Europa und Australien zwischen 7 und 46 Prozent (Danker-Hopfe und Dorn 2005). Die hohe Variation der Prävalenz ist darauf zurückzuführen, dass verschiedene Definitionen für den Begriff der Schlafstörungen verwendet wurden. Die Häufigkeit von chronischer oder schwerer Schlafstörung liegt bei etwa 10-20 Prozent (Danker-Hopfe und Dorn 2005).

Elektromagnetische Felder des Mobilfunks werden häufig mit möglichen negativen Effekten auf die Schlafqualität in Zusammenhang gebracht. So wurden in der Befragung von **Röösl** **et al.** (2004) von sich selbst als elektrosensibel einschätzenden Teilnehmern Schlafstörungen mit 58% am häufigsten und Müdigkeit an vierter Stelle (18%) genannt (Röösl, Moser et al. 2004). Auch im Rahmen des Projekts „Mainzer EMF-Wachhund“³ wurden von den Betroffenen Schlafstörungen mit 51% am häufigsten und Müdigkeit am dritthäufigsten (44.3%) genannt (Schüz, Petters et al. 2004).

Im Folgenden werden die Studien bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Schlafstörungen sowie Müdigkeit wiederum in Human-Laborstudien und epidemiologische Studien unterteilt. Es wurden (wie bereits bei den Kopfschmerzen) sowohl potentielle Effekte von Exposition durch Mobiltelefone als auch von Mobilfunkbasisstationen untersucht. Es ist anzumerken, dass in den Laborstudien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf Schlafstörungen und Müdigkeit teilweise recht hohe Feldstärken verwendet wurden. Im Alltag treten Felder von Mobilfunkbasisstationen in der Regel nicht in solcher Höhe auf.

Laborstudien

³ Der Mainzer EMF-Wachhund ist eine gemeinsame Initiative des Ministeriums für Umwelt und Forsten in Rheinland-Pfalz und der Mainzer Universität. Das Projekt hatte es sich zur Aufgabe gemacht ein wachsames Auge auf gesundheitliche Beschwerden zu haben, welche mit elektromagnetischen Feldern in Zusammenhang gebracht werden. Ein entsprechender Fragebogen wurde im Internet angeboten und konnte online ausgefüllt oder ausgedruckt und per Post gesendet werden. Zwischen Oktober 2003 und März 2005 berichteten 192 Personen von entsprechenden Beschwerden. 56% davon bezeichneten sich selbst als elektrosensitiv.

Die Schlafqualität lässt sich im Schlaflabor durch die Aufzeichnung von Hirnströmen im Elektroenzephalogramm (EEG) objektiv beurteilen. Anhand des EEGs lassen sich verschiedene Schlafphasen wie z.B. der REM-Schlaf (REM = rapid eye movement) identifizieren. Die Dauer und die Latenzzeit dieser Phasen gelten als klassische Schlafparameter (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) 2007). Verschiedene Human-Laborstudien untersuchten einen potentiellen Einfluss von Mobilfunkstrahlung auf das Schlaf-EEG. Die bisher publizierten Studien verwendeten alle GSM-Signale von meist ca. 900 MHz und einer Pulsung von 217 MHz, da GSM das weltweit am meisten verwendete System für Mobilfunknetze ist. Die verwendeten Studiendesigns sind unterschiedlich. Die Sendeleistung bzw. der SAR-Wert der Exposition variierte zwischen Werten, wie sie in der Nähe von Mobilfunkbasisstationen auftreten, bis zu Werten, wie sie bei der Nutzung von Mobiltelefonen auftreten. Die Dauer der Exposition reichte von 30 Minuten vor Schlafbeginn bis zu einer durchgängigen Exposition während des gesamten Nachtschlafs. Die Studien wurden einfach- oder doppelblind und meistens in einem Crossover-Design durchgeführt (Übersicht bei Danker-Hopfe und Dorn 2005)).

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder bei Mobiltelefonnutzung auf Schlafstörungen und Müdigkeit

Mann und Röschke (1996) prüften in einer einfach-blinden Cross-Over-Studie den Effekt gepulster 900 MHz Exposition eines Mobiltelefons auf Schlafempfinden und EEG an 14 männlichen Probanden. Die durchschnittliche Leistungsstärke des Signals betrug in 40 Zentimeter Entfernung vom Kopf $0,5 \text{ W/m}^2$. Jeder Teilnehmer verbrachte drei aufeinanderfolgende Nächte im Labor. Die erste Nacht diente der Adaption, dann folgten bei den Probanden in randomisierter Abfolge Exposition und Schein-Exposition. Es zeigten sich eine signifikant reduzierte Einschlafzeit sowie ein Anstieg der mittleren Leistungsdichte in allen Frequenzbändern im REM-Schlaf. Es war kein Einfluss des Expositionsstatus auf das subjektive Empfinden während der Nacht und am nächsten Tag festzustellen. Diesbezüglich war das einzige signifikante Resultat, dass sich die Probanden am Tag nach Nächten mit Feldexposition „ruhiger“ fühlten. (Mann und Röschke 1996)

In einer Replikationsstudie der gleichen Arbeitsgruppe wurde eine geringere Sendeleistung des Signals verwendet ($0,2 \text{ W/m}^2$). Es zeigten sich generell die gleichen Ergebnisse, die gefundenen Effekte waren jedoch geringer und es erwies sich kein Ergebnis als statistisch signifikant (Wagner, Roschke et al. 1998).

In einer weiteren Studie derselben Arbeitsgruppe war die durchschnittliche Sendeleistung mit 50 W/m^2 deutlich höher. Es ergaben sich durch die Befeldung keine statistisch signifikanten Effekte auf die klassischen Schlafparameter und das EEG (Wagner, Roschke et al. 2000).

Huber et al. (2002) exponierten Probanden in einer doppelblinden Cross-Over-Studie 30 Minuten lang mit einem 900 MHz-Signal (SAR betrug 1 W/kg , drei Nächte: gepulste, nicht-gepulste und Schein-Exposition) vor dem Einschlafen. Die Exposition gegenüber dem pulsmodulierten elektromagnetischen Feld führte im Wach-EEG vor dem Einschlafen zu einer Aktivitätszunahme im Alpha-Bereich. Ein kontinuierliches Feld der gleichen Intensität hatte dagegen im Vergleich zur Scheinexposition keinen Einfluss auf das EEG vor dem Einschlafen. Die Autoren folgerten daraus, dass die gepulsten Felder für die EEG-Veränderung verantwortlich zu sein scheinen. (Huber, Treyer et al. 2002)

Loughran et al. (2005) untersuchten in einer doppelblinden Cross-Over-Studie die Effekte einer 30-minütigen Exposition gegenüber eines GSM-Mobiltelefons ($894,6$

MHZ, SAR betrug 0.11 W/kg) vor Schlafbeginn und fanden eine verminderte REM-Schlaflatenz. Die Spektralanalyse ergab in den ersten 30 Minuten der ersten Non-REM-Schlafphase eine signifikante Zunahme der EEG-Aktivität im Frequenzbereich von 11,5 bis 12,25 Hz nach der Befeldung. (Loughran, Wood et al. 2005)

In einer weiteren doppelt verblindeten Cross-over-Studie wurden 15 männliche Probanden vor dem Schlafen einer 30-minütigen Exposition (ähnlich derjenigen eines GSM-Mobiltelefons mit 900 MHz; SAR betrug entweder 0.2 oder 5 W/kg) ausgesetzt. Das Schlafmuster wurde durch die Exposition nicht beeinflusst. Im Schlaf-EEG zeigte sich ein dosisabhängiger Anstieg der Leistung im Spindel-Frequenz-Bereich im Nicht-REM-Schlaf (Regel, Tinguely et al. 2007).

In der Studie von **Fritzer et al.** (2007) verbrachten 20 Probanden (10 exponierte und 10 nicht-exponierte Personen) acht Nächte im Schlaflabor. Bei der Exposition handelte es sich um ein gepulstes GSM-Signal (900 MHz; über 1 g gemittelte SAR von 0.875 W/kg). Es zeigte sich für keinen der 17 klassischen Schlafparameter (Schlaffeffizienz, Latenz bis zum Einschlafen, Anteil und Dauer der REM-Phasen etc.) ein signifikanter Unterschied zwischen exponierten und nicht-exponierten Probanden. Auch ließen sich keine kumulierten Effekte (nach sechs Nächten mit Exposition) nachweisen. (Fritzer, Goder et al. 2007)

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf Schlafstörungen und Müdigkeit

Borbély et al. (1999) untersuchten in einer doppelblinden Cross-Over-Studie an 24 männlichen Personen die unmittelbaren Effekte eines 900 MHz GSM-Signals (15-minütige an/aus-Zyklen, SAR = 1 W/kg) auf den nächtlichen Schlaf. Es zeigte sich eine signifikante Verkürzung der Wachphasen nach Schlafbeginn sowie einen Anstieg der Leistungsdichte in den ersten Nicht-REM-Schlafphasen. (Borbely, Huber et al. 1999)

In einer doppelblinden Cross-Over-Studie (Huber, Graf et al. 2000) wurden 16 junge Männer vor dem Einschlafen 30 Minuten lang hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (900 MHz; SAR = 1 W/kg; gepulst oder kontinuierlich) ausgesetzt. Die verwendete Exposition führte im Vergleich zur Kontrollbedingung (Schein-Exposition) in den ersten 30 Minuten der nicht REM-Phasen zu einer Erhöhung der Leistungsdichte im Alpha-Band. Danach fand eine Angleichung an die Scheinexpositionssituation statt. Bezüglich der subjektiven Einschätzung von

Schlafqualität und Schlaflatenzzeit durch die Probanden ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Kontrollbedingung.

Hinrichs et al. (2005) untersuchten in einer Doppelblindstudie mit Crossover-Design die Auswirkungen einer Fernfeldexposition durch ein GSM-Mobilfunksignal (1800 MHz; maximale SAR wurde auf 72 mW/kg geschätzt) auf das Schlaf-EEG. Jede(r) der 14 Probanden verbrachte 5 aufeinander folgende Nächte im Schlaflabor. Die Auswertung der klassischen Schlafparameter ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Exposition und Scheinexposition. (Hinrichs, Heinze et al. 2005)

Eine Übersicht aller hier dargestellten Laborstudien zum Thema eines möglichen Einflusses von Mobilfunkstrahlung auf Schlafstörungen und Müdigkeit findet sich in Tabelle 4.

Epidemiologische Studien

Die meisten der im Folgenden dargestellten Studien befassten sich nicht nur mit den Symptomen Schlafstörungen und Müdigkeit, sondern es wurde das Vorhandensein einer ganzen Reihe weiterer Befindlichkeitsstörungen erfasst. Im Rahmen der epidemiologischen Studien zum Thema wurden ebenfalls sowohl die potentiellen Effekte der Mobilfunknutzung als auch der Exposition durch Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf untersucht.

Möglicher Einfluss der Felder bei Mobiltelefonnutzung auf Schlafstörungen und Müdigkeit

In der Querschnittsstudie von **Oftedal et al.** (2000) berichteten 8% der norwegischen und 2% der schwedischen Teilnehmer von auftretender Müdigkeit, die sie auf berufliche Mobiltelefonnutzung zurückführten (Oftedal, Wilén et al. 2000). In einer detaillierteren Auswertung durch **Sandström et al.** (2001) ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Telefonierdauer sowie der Häufigkeit und der Prävalenz von Müdigkeit (Sandström, Wilen et al. 2001).

Eine französische Studie zum Thema Mobiltelefonnutzung (Santini, Seigne et al. 2001) zeigte keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Auftretens von Müdigkeit und Schlafstörungen zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich zwischen Frauen und Männern. Weibliche Mobiltelefonnutzer gaben häufiger Schlafstörungen an als männliche

Mobiltelefonnutzer. Bei den Nicht-Mobiltelefonnutzern konnte dieser geschlechtsspezifische Unterschied nicht gefunden werden.

Die weitere Auswertung zeigte auch, dass die Häufigkeit von Müdigkeit mit einem höheren SAR-Wert des von den Probanden benutzten Mobiltelefons ($> 0,5 \text{ W/kg}$) assoziiert war, vor allem bei längerer Gesprächsdauer pro Tag (Wilén et al. 2003). Die Ergebnisse sind allerdings nur mit Vorsicht zu betrachten, da mögliche Confounder (wie psychosoziale Arbeitsbelastung, Beruf und Geschlecht) bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurden.

Herr (2005) untersuchten 2005 an 132 Probanden mittels Fragebogen einen möglichen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und selbstberichteter Schlafqualität. Für die Mobiltelefonnutzungsdauer konnte kein Zusammenhang zur Schlafqualität gefunden werden. Die Auswertung ergab jedoch signifikante Unterschiede in der Schlafqualität in Abhängigkeit von ungeklärten körperlichen Beschwerden, vom subjektiven Stressgefühl und von der täglichen Arbeitszeit (als Indikator für beruflichen Stress). Auch sprechen die Ergebnisse dafür, dass Personen mit größerer Arbeits- und Stressbelastung häufiger ein Mobiltelefon nutzten. (Herr 2005)

Möglicher Einfluss der Felder von Mobilfunkbasisstationen auf die Schlafqualität

In der bereits in Kapitel 2.3.2 näher dargestellten Studie von **Santini et al.** (2002) zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der selbstberichteten Nähe der Wohnung zur nächsten Basisstation und der Häufigkeit von Schlafstörungen und Müdigkeit. Die Auswertung ergab, dass Anwohner in bis zu 200 Metern selbstberichteter Entfernung der Wohnung von der Mobilfunkbasisstation signifikant häufiger Schlafstörungen berichteten als „nicht-exponierte“ und Anwohner in über 300 Metern selbstberichteter Entfernung zur Basisstation. Müdigkeit trat sogar bei Anwohnern, die in einer selbstberichteten Entfernung von bis zu 300 Metern um die Basisstation wohnten, signifikant häufiger auf als in der Referenzgruppe. (Santini, Santini et al. 2002) Wegen der bereits angesprochenen methodischen Mängel (vgl. Kapitel 2.3.2) sollte man diese Ergebnisse jedoch mit Vorsicht interpretieren.

Navarro et al. (2003) fanden ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zwischen der selbstberichteten Entfernung zur nächsten Mobilfunkbasisstation und dem Auftreten von Schlafstörungen. Für Müdigkeit ergab sich keine signifikante

Assoziation. (Navarro, Segura et al. 2003) Aufgrund des sehr kleinen Untersuchungskollektivs ($n = 101$) und wahrscheinlicher Missklassifikation der Exposition (da selbsteingeschätzte Entfernung zur Mobilfunkbasisstation verwendet wurde) ist dieses Ergebnis aber nur begrenzt interpretierbar.

Eine österreichische Querschnittsstudie, die die Exposition der Probanden mittels stationärer Messungen im Schlafzimmer abschätzte, fand keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Exposition durch Mobilfunkbasisstationen und der selbstberichteten Schlafqualität von Anwohnern. Bei den bezüglich Mobilfunkstrahlung besorgten Probanden ergab sich jedoch eine signifikant schlechtere Schlafqualität (Hutter, H. et al. 2002; Hutter, Moshammer et al. 2006).

Zum gleichen Ergebnis kamen **Berg et al.** (2007). Auch in dieser Studie wurde die Exposition mittels einmaliger Messung im Schlafzimmer erhoben. Die Schlafqualität wurde mittels Fragebogen erfasst. Es ergab sich bei Probanden, welche ihre gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf Basisstationen attribuierten, eine höhere Prävalenz von Schlafstörungen. (Berg, Breckenkamp et al. 2007)

Ebenfalls im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms wurde bei sich selbst als elektrosensibel einschätzenden Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen die Schlafqualität unter häuslichen Bedingungen untersucht. Hintergrund war die Tatsache, dass die bisherigen Untersuchungen an elektrosensiblen Personen primär als Provokationsexperimente im Labor erfolgt waren. Methodische Nachteile sind dabei, dass die Probanden in ungewohnter Umgebung schlafen müssen und dass die Laborsendeanlagen die realen Expositionsbedingungen vor Ort nicht ausreichend nachbilden können. In der hier dargestellten Studie sollte daher die Reaktion auf elektromagnetische Felder von Basisstationen im häuslichen Umfeld der Betroffenen untersucht werden (Leitgeb 2007).

In den Wohnungen der Probanden wurde der Schlafplatz durch einen mobilen "Baldachin" aus HF-schirmendem Material abgeschirmt („verum“). Der Schirmfaktor betrug etwa 20 dB. Zusätzlich wurde ein äußerlich gleicher nicht schirmender Stoff verwendet („sham“). Unter der Kontrollbedingung war kein Baldachin vorhanden. Es wurden je 3 Nächte unter den jeweiligen Bedingungen im randomisierten Doppelblind-Design untersucht. Die tatsächlichen Feldverhältnisse am Schlafplatz wurden durch Messungen bestimmt und dokumentiert. In der Feldstudie wurden 20 Probanden untersucht und deren Schlaf in insgesamt 214 Nächten polysomnographisch und durch subjektive Bewertungsfragebögen erfasst. Die

Ergebnisse wurden mit Daten von 24 Probanden (261 Nächte) gepoolt, die in einer vorhergehenden Studie (EPROS Österreich) erhoben worden waren. In der Studie konnte kein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein der elektromagnetischen Felder von Mobilfunkbasisstationen und der Schlafqualität gefunden werden. Bei acht Probanden (18 %) konnte jedoch nachgewiesen werden, dass bereits der Glaube an eine Schirmwirkung zu einer subjektiv empfundenen Schlafverbesserung führte (Placebo-Effekt) (Leitgeb 2007).

In einem weiteren Projekt des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms wurde im Rahmen einer Doppelblind-Studie der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf die Schlafqualität der anwohnenden Bevölkerung untersucht. Die Netzbetreiber stellten für die Durchführung der Studie einen mobilen Sendemast für die Erzeugung der Exposition zur Verfügung. Die Schlafqualität wurde mittels Befragung und Registrierung physiologischer Parameter (Schlaf-EEG) erhoben. Es wurden zehn Standorte aus fünf Bundesländern ausgewählt. Insgesamt nahmen 397 Probanden teil. Die Ergebnisse liegen derzeit noch nicht vor, da die Datenauswertung noch andauert (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_verg/bio_095.html).

Möglicher Einfluss der Felder von Mobilfunkbasisstationen und Mobiltelefonnutzung auf die Schlafqualität

In der ersten epidemiologischen Studie, in der Personendosimetrie zur Abschätzung der individuellen Exposition von Mobilfunkfrequenzen verwendet wurde, zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesamtexposition der Probanden und chronischen oder akuten Schlafstörungen und Müdigkeit (Thomas, Kühnlein et al. 2008).

Eine Übersicht aller hier dargestellten epidemiologischen Studien zum Thema eines möglichen Einflusses von Mobilfunkstrahlung auf Schlafstörungen und Müdigkeit findet sich in Tabelle 3.

Fazit

Die Ergebnisse der bisher vorliegenden Laborstudien sind relativ homogen. Überwiegend zeigen die Resultate, dass Mobilfunkstrahlung einen Einfluss auf die menschlichen Gehirnströme haben und leichte Effekte im Sinne einer schlaffördernden Wirkung auftreten. Dies steht in Kontrast zu den Klagen von

Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen, die von einer subjektiv empfundenen Beeinträchtigung ihres Schlafes berichten. Die verwendeten Studiendesigns sind jedoch nur begrenzt vergleichbar, da sie sich bezüglich der Sendeleistung des Signals, der Dauer und des Zeitpunkts der Exposition, Einfach- oder Doppelblindung etc. unterscheiden. Auch liegt bisher kein plausibler Wirkungsmechanismus vor, so dass momentan noch keine Einschätzung darüber möglich ist, ob die beobachteten biologischen Effekte überhaupt Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben.

Mann und Röschke veröffentlichten 2004 einen Übersichtsartikel zu den Studien zu Auswirkungen der Hochfrequenzexposition auf den Schlaf. Sie kamen zu dem Resultat, dass die Ergebnisse der bisher vorliegenden experimentellen Studien nicht konsistent seien, aber insgesamt dafür sprechen würden, dass Mobilfunkstrahlung einen Einfluss auf den Schlaf und das Schlaf-EEG haben könnte. Am ehesten scheine ein leicht schlaffördernder Effekt und ein Anstieg der Alpha-Leistung des Schlaf-EEGs vorhanden zu sein. Es müsse in weiteren Untersuchungen evaluiert werden, ob diese biologischen Effekte gesundheitsrelevant sind (Mann und Röschke 2004).

Danker-Hopfe et al. (2005) fassten ebenfalls die Erkenntnisse der bisherigen Laborstudien zusammen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die bisher beobachteten leichten Effekte nicht darauf hinweisen, dass die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks Schlafstörungen verursachen, die eine Beeinträchtigung der Gesundheit darstellen. (Danker-Hopfe und Dorn 2005)

Die Ergebnisse der verschiedenen epidemiologischen Studien sind widersprüchlich. Teilweise findet sich ein Zusammenhang zwischen der Exposition durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks und Müdigkeit und Schlafstörungen, andere Studien konnten dies jedoch nicht belegen. Ebenso wie bei den Human-Laborstudien sind die Studienresultate aufgrund unterschiedlichen Designs nur eingeschränkt miteinander vergleichbar.

Da Schlafstörungen und Müdigkeit zudem in der Allgemeinbevölkerung relativ häufig auftreten, können sie auch durch eine große Anzahl unterschiedlicher Faktoren bedingt ein. Eine Berücksichtigung relevanter Confounder (z. B. psychosoziale Arbeitsbelastung, subjektiver Stress) ist daher unbedingt notwendig.

Alle in diesem Kapitel dargestellten Studien wurden an erwachsenen Probanden durchgeführt. Bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen

elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Schlafstörungen sowie Müdigkeit gibt es noch keine Studien an Kindern und Jugendlichen.

Gesamtfazit bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Befindlichkeitsstörungen

Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft liegen keine konsistenten Hinweise dahingehend vor, dass die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks gesundheitliche Beeinträchtigungen beim Menschen auslösen können (Ahlbom, Green et al. 2004; Otto und von Mühlendahl 2007).

Die Autoren eines Reviews bezüglich Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunkstrahlung schließen aufgrund der widersprüchlichen Studienresultate jedoch nicht aus, dass die elektromagnetische Feldern des Mobilfunks zu Befindlichkeitsstörungen führen könnten. Falls dies der Fall sei, würden die bisherigen Forschungsergebnisse jedoch auf eine individuell unterschiedliche Reaktion auf elektromagnetische Felder hinweisen und nicht auf einen charakteristisches Symptomkomplex (Seitz, Stinner et al. 2005)

Tabelle 2: Übersicht über Human-Laborstudien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Kopfschmerzen

Literatur	Design	Teilnehmer	Exposition	Ergebnisse
Koivisto et al. (2001)	einfach-blind, Cross-over	48 Personen	Mobiltelefon (902 MHz), mittlere Leistung 0,25 W, 30 bzw. 60 Minuten	kein Effekt bezüglich Kopfschmerzen
Oftedal et al. (2007)	doppelblind, Cross-Over	17 EHS	Mobiltelefon (902 MHz), SAR = 1 W/kg, 30 Minuten	kein Effekt bezüglich Kopfschmerzen
Regel et al. (2006)	doppelblind, Cross-Over	117 Personen (darunter 33 EHS)	UMTS-MBS (2140 MHz), 1 V/m und 10 V/m, jeweils 45 Minuten	kein Effekt bezüglich Kopfschmerzen
Zwamborn et al. (2003)	Laborstudie, doppelblind	36 EHS, 38 nicht-EHS	MBS (GSM 900, GSM 1800, UMTS), 1 V/m, jeweils 45 Minuten	kein Effekt bezüglich Kopfschmerzen

EHS = sich selbst als elektrosensibel bzw. elektrosensitiv bezeichnende Personen

GSM = Global System for Mobile Communications

MBS = Mobilfunkbasisstation

SAR = spezifische Absorptionsrate

UMTS = Universal Mobile Telecommunication System

Tabelle 3: Übersicht über epidemiologische Studien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Kopfschmerzen sowie Schlafstörungen und Müdigkeit

Literatur	Design	Teilnehmer	Land	Zielgrößen	Exposition	Erfassung	Ergebnis
Berg et al. (2007)	Querschnittsstudie	1500 Personen	Deutschland	Schlafstörungen, Kopfschmerzen, gesundheitsbezogene Lebensqualität, Zerssen-Beschwerdenliste	GSM- und UMTS-MBS	Messung in Schlafräumen durch Antennessa Dosimeter	keine Effekte

Chia et al. (2000)	Querschnittsstudie	808 Personen	Singapur	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel; Kribbeln, Brennen und Wärmegefühl der Haut	Mobiltelefon	Fragebogen	signifikant häufiger Kopfschmerzen bei Mobiltelefonnutzern; keine Effekte bezüglich der anderen Beschwerden
Heinrich et al. (2007)	Feldstudie	95 Büro-Angestellte	Deutschland	21 Beschwerden (z. B. Kopfschmerzen, Energielosigkeit, Schwindel, Ohrgeräusche)	UMTS-MBS	Messung in Büros der Teilnehmer	keine Effekte
Herr et al. (2005)	Umfrage	132 Personen	Deutschland	selbstberichtete Schlafqualität	Mobiltelefon	Fragebogen	keine Effekte
Hocking (1998)	Umfrage	40 Personen	Australien	Kopfschmerzen, Wärmegefühl der Haut etc.	Mobiltelefon	Fragebogen	während des Telefonierens aufgetretene Symptomen wurden von den Befragten auf die Mobiltelefonnutzung zurückgeführt
Hutter et al. (2006)	Querschnittsstudie	365 Anwohner von MBS	Österreich	Zerssen-Beschwerdenliste, Schlafqualität, kognitive Leistungen	GSM-MBS	Messung in Schlafräumen	signifikant häufiger Kopfschmerzen bei Personen aus der höchsten Expositions-kategorie; kein Effekt bezüglich Schlafqualität,
Leitgeb et al. (2007)	Feldstudie, doppelblind	44 EHS 115 nicht-EHS	Österreich	objektive und selbstberichtete Schlafqualität	MBS	Abschirmung versus vorhandene Exposition	kein Effekt
Oftedal et al. (2000) und	Querschnittsstudie	ca. 11.000 Mobiltelefonnutzer	Norwegen Schweden	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel etc.	Mobiltelefon	Fragebogen	Kopfschmerzen wurden am häufigsten genannt

Sandström et al. (2001)							
Sandström et al. (2001)	Querschnittsstudie	ca. 11.000 Mobiltelefonnutzer	Norwegen Schweden	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel etc.	Mobiltelefon	Fragebogen	signifikanter Zusammenhang zwischen Telefonierdauer und Häufigkeit von Kopfschmerzen, Müdigkeit, Hautproblemen und Wärmegefühl der Haut
Santini et al. (2001)	Querschnittsstudie	161 Mobiltelefonnutzer	Frankreich	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schlafstörungen, Wärmegefühl der Haut etc.	Mobiltelefon	Fragebogen	kein Effekt für Kopfschmerzen bei Nutzern signifikant häufiger Müdigkeit und Schlafstörungen
Santini et al. (2002)	Querschnittsstudie	530 Personen	Frankreich	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schlafstörungen, Übelkeit, Schwindel etc.	GSM-MBS	Fragebogen	signifikant häufiger Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schlafstörungen und Schwindel bei selbsteingeschätzten "exponierten" Anwohner
Navarro et al. (2003)	Querschnittsstudie	101 Anwohner von MBS	Spanien	Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Müdigkeit, Übelkeit, Schwindel, Appetitlosigkeit etc.	GSM-MBS	Fragebogen	signifikant häufiger Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Übelkeit und Schwindel bei selbsteingeschätzten "exponierten" Anwohner, bezüglich Müdigkeit kein Effekt
Thomas et al. (2008)	Querschnittsstudie	329 Personen	Deutschland	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schlafstörungen, neurologische und kardiovaskuläre Symptome	Mobiltelefon MBS, Wlan	Messung (Personendosimeter)	kein Effekt

Wilen et al. (2003)	Querschnittsstudie	ca. 11.000 Mobiltelefonnutzer	Norwegen Schweden	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel etc.	Mobiltelefon	Fragebogen	signifikant häufiger Kopfschmerzen und Müdigkeit bei Nutzung von Mobiltelefonen mit höherem SAR-Wert
---------------------	--------------------	-------------------------------	-------------------	--	--------------	------------	--

EHS = sich selbst als elektrosensibel bzw. elektrosensitiv bezeichnende Personen

GSM = Global System for Mobile Communications

MBS = Mobilfunkbasisstation

SAR = spezifische Absorptionsrate

UMTS = Universal Mobile Telecommunication System

Tabelle 4: Übersicht über Human-Laborstudien bezüglich eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Schlafstörungen und Müdigkeit

Literatur	Design	Teilnehmer	Exposition	Ergebnisse
Borbély et al. (1999)	doppelblind, Cross-Over	24 Personen	MBS (900 MHz), SAR = 1 W/kg, 15-minütige an/aus-Zyklen	signifikante Verkürzung der Wachphasen nach Schlafbeginn, Anstieg der Leistungsdichte in den ersten Nicht-REM-Schlafphasen
Fritzer et al. (2007)	k.A., kein Cross-Over	20 nicht-EHS	Mobiltelefon (900 MHz), SAR(1g) = von 0.875 W/kg, 6 aufeinander folgende Nächte	keine Auswirkungen auf Schlafparameter
Hinrichs et al. (2005)	doppelblind, Cross-Over	14 Personen	MBS (1800 MHz), maximaler SAR-Wert wurde auf 72 mW/kg geschätzt, 5 aufeinanderfolgende Nächte	keine statistisch signifikanten Effekte auf Schlafparameter
Huber et al. (2000)	doppelblind, Cross-Over	16 Personen	MBS (900 MHz), SAR = 1 W/kg (gepulst oder kontinuierlich), 30 Minuten vor dem Einschlafen	in den ersten 30 Minuten der Nicht-REM-Phasen Erhöhung der Leistungsdichte im Alpha-Band, danach Angleichung an Kontrollbedingung; bezüglich der Schlaflatenzzeit und der selbstberichteten Schlafqualität keine signifikanten Unterschiede im Vergleich

Literatur	Design	Teilnehmer	Exposition	Ergebnisse
				zur Kontrollbedingung
Huber et al. (2002)	doppelblind, Cross-Over	16 Personen	Mobiltelefon (900 MHz), SAR = 1 W/kg, jeweils 30 Minuten vor dem Einschlafen	im Wach-EEG vor dem Einschlafen Aktivitätszunahme im Alpha-Bereich; kein Effekt bei kontinuierlichem Feld
Loughran et al. (2005)	doppelblind, Cross-Over	50 Personen	Mobiltelefons (894,6 MHz), SAR = 0.11 W/kg, 30 Minuten vor Schlafbeginn	verminderte REM-Schlaflatenz; in den ersten 30 Minuten der ersten Non-REM-Schlafphase signifikante Zunahme der EEG-Aktivität im Frequenzbereich von 11,5 bis 12,25 Hz
Mann und Röschke (1996)	einfachblind, Cross-Over	12 Personen	Mobiltelefon (900 MHz), mittlere Leistung 0,5 W/m ² , komplette Nacht (8 Stunden)	signifikant reduzierte Einschlaflatenz sowie Anstieg der mittleren Leistungsdichte in allen Frequenzbändern im REM-Schlaf; kein Einfluss des Expositionsstatus auf das subjektive Empfinden
Regel et al. (2007)	doppelblind, Cross-Over	15 Personen	Mobiltelefon (900 MHz), SAR betrug entweder 0.2 oder 5 W/kg, 30 Minuten	kein Effekt auf Schlafmuster; im Schlaf-EEG dosisabhängiger Anstieg der Leistung im Spindel-Frequenz-Bereich im Nicht-REM-Schlaf
Wagner et al. (1998)	einfachblind, Cross-Over	24 Personen	Mobiltelefon (900 MHz), mittlere Leistung 0,2 W/m ² , komplette Nacht (8 Stunden)	keine statistisch signifikanten Effkte
Wagner et al. (2000)	einfachblind, Cross-Over	20 Personen	Mobiltelefon (900 MHz), mittlere Leistung 50 W/m ² , komplette Nacht (8 Stunden)	keine statistisch signifikanten Effekte

EEG = Elektroencephalogramm; EHS = sich selbst als elektrosensibel bzw. elektrosensitiv bezeichnende Personen; GSM = Global System for Mobile Communications; MBS = Mobilfunkbasisstation; REM = Rapid Eye Movement; SAR = spezifische Absorptionsrate; UMTS = Universal Mobile Telecommunication System

2.3.4. Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf kognitive Funktionen

Kognitive Funktionsstörungen werden neben Schlafstörungen und Kopfschmerzen häufig mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Zusammenhang gebracht. Im Rahmen einer Schweizer Studie gaben 16%, der sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Personen, Konzentrationsschwierigkeiten an (Röösli, Moser et al. 2004). In einer vergleichbaren deutschen Studie waren Konzentrationsstörungen (46%) und Vergesslichkeit (33%) unter den sieben am häufigsten genannten Beschwerden (Schüz, Petters et al. 2004).

Im Folgenden werden die Studien bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und kognitiven Funktionsstörungen wiederum in Human-Laborstudien und epidemiologische Studien unterteilt. Dabei wurden sowohl potentielle Effekte von Exposition durch Mobiltelefonnutzung als auch von Mobilfunkbasisstationen untersucht.

Laborstudien

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder bei Mobiltelefonnutzung auf kognitive Funktionen

Mittlerweile liegt eine Vielzahl von Studien zu diesem Thema vor, in denen unterschiedliche kognitive Leistungen wie Reaktionszeit, Gedächtnisleistung, Aufmerksamkeit etc. untersucht wurden (siehe Tabelle 5). In früheren Studien wurde relativ konsistent eine Verbesserung der kognitiven Leistungen unter Mobilfunkexposition beobachtet. **Preece et al.** (1999) untersuchten an 38 Probanden die Auswirkungen verschiedener GSM-Felder (915 MHz, SAR zwischen 0,125 und 1 W/kg, gepulst und ungepulst, 25-30 Minuten) auf kognitive Leistungen. Sie stellten insbesondere bei den Aufmerksamkeitsleistungen signifikante Veränderungen (verkürzte Reaktionszeit) im Vergleich zur Scheinexposition fest. (Preece, Iwi et al. 1999)

Eine Studie von **Edelstyn und Oldershaw** (2002) zu den akuten Wirkungen von elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (900 MHz, SAR = 1,19 W/kg, 30 Minuten) auf die menschliche Aufmerksamkeit ergab ebenfalls positive Effekte. Die

exponierten Personen zeigten verbesserte Leistungen bezüglich der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und der Aufmerksamkeit. (Edelstyn und Oldershaw 2002)

In einer Arbeit von **Koivisto et al.** (2000) führte die Exposition durch ein 902 MHz Mobiltelefon (mittlere Leistung 0,25 W) zu einer Reduzierung der benötigten Zeit beim Kopfrechnen und zu kürzeren Reaktionszeiten (Koivisto, Revonsuo et al. 2000). Eine Replikationsstudie mit methodischen Verbesserungen (wie Doppelblindung) durch die gleiche Arbeitsgruppe konnte diese Ergebnisse allerdings nicht bestätigen (Haarala, Bjornberg et al. 2003).

Haarala et al. (2004) führten eine Replikation einer früheren Doppelblindstudie bezüglich der Effekte der elektromagnetischen Felder eines 902 MHz Mobiltelefons (mittlere Leistung 0,25 W) auf das Kurzzeitgedächtnis durch. Im Gegensatz zu ihrer früheren Studie hatten die elektromagnetischen Felder keinen Einfluss mehr auf die Reaktionszeiten oder auf die Genauigkeit der Antworten der 64 Probanden. (Haarala, Ek et al. 2004) In der früheren Studie waren die Leistungen der Teilnehmer unter elektromagnetischer Exposition besser ausgefallen (Koivisto, Haarala et al. 2001).

Smythe und Costall (2003) untersuchten in einer einfachblinden Studie an 62 Personen die möglichen Auswirkungen einer 1800 MHz Mobiltelefonexposition (SAR = 0,79 W/kg, 15 Minuten) auf die visuelle Gedächtnisleistung. Für einen Teil des Tests (räumliche Zuordnung) ergab sich in der real exponierten Gruppe eine statistisch signifikant niedrigere Fehlerrate als bei Scheinexposition. Dies konnte allerdings nur bei den männlichen Teilnehmern beobachtet werden. (Smythe und Costall 2003)

In einer weiteren einfachblinden Studie wurden an 78 Probanden Aufmerksamkeitstests während einer 1900 MHz Exposition eines Mobiltelefons bzw. einer Scheinexposition durchgeführt. Bezüglich der Fehlerraten ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang. Die exponierte Gruppe wies jedoch eine signifikant verkürzte Reaktionszeit im zweiten Durchgang auf, was die Autoren als verzögerte Wirkung der Exposition interpretierten (Lee, Lam et al. 2003).

Curcio et al. (2004) untersuchten an 20 Personen den zeitlichen Verlauf von möglichen Effekten einer Mobiltelefonexposition (902 MHz, mittlere Leistung 0,25 W) auf kognitive Funktionen im Rahmen einer doppelblinden Cross-over-Studie. Die Hälfte der Teilnehmer wurde 45 Minuten vor dem Test, die andere Hälfte während der Durchführung der kognitiven Tests exponiert. Bei den Personen, die vor den

Tests exponiert wurden, ergaben sich statistisch signifikant kürzere Reaktionszeiten im Vergleich zu den während der Tests exponierten Probanden. Zudem traten bei den akustischen Tests bei realer Exposition statistisch signifikant kürzere Reaktionszeiten auf. Die Autoren interpretierten ihre Ergebnisse als einen Hinweis auf eine zeitliche Verzögerung der Effekte der Exposition. (Curcio, Ferrara et al. 2004)

In einer einfach verblindeten Cross-over Studie von **Hamblin et al.** (2004) an 12 Probanden (895 MHz, SAR = 0,87 W, 30 Minuten) ergab sich dagegen eine signifikante längere Reaktionszeit bei vorhandener Exposition. Die Fehlerraten unterschieden sich nicht. (Hamblin, Wood et al. 2004)

Hinrichs und Heinze (2004) exponierten in einer doppelblinden Cross-over-Studie 12 Probanden 30 Minuten lang mit einem 1870 MHz Feld (mittlere Leistung 0,125 W) eines Mobiltelefons. In den letzten 10 Minuten der Expositionsphase fand ein Gedächtnistest statt. Es zeigte sich kein expositionsabhängiger Unterschied bezüglich Reaktionszeiten oder Fehlerraten. (Hinrichs und Heinze 2004)

Krause et al. (2004) untersuchten in einer doppelblinden Replikationsstudie die Auswirkungen einer 902 MHz Mobiltelefonexposition (mittlere Leistung 0,25 W, 30 Minuten) auf die Gedächtnisleistung bei 24 Probanden. In der Vorgängerstudie zeigte sich kein Einfluss der Exposition auf die Fehlerrate (Krause 2000). Diesmal lag die Fehlerrate der Probanden bei realer Exposition signifikant höher als bei der Scheinexposition. (Krause, Haarala et al. 2004)

Besset et al. (2005) exponierten in einer doppelblinden Studie 55 Probanden über einen Zeitraum von 28 Tagen hinweg jeden Wochentag 120 Minuten mit einem 900 MHz Feld (SAR = 0,54 W/kg) eines Mobiltelefons. Alle Teilnehmer telefonierten weniger als 10 Minuten täglich mit dem Mobiltelefon. Die Auswertung ergab in Abhängigkeit von der Exposition keine Unterschiede der kognitiven Leistung (Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Reaktionsgeschwindigkeit, Informationsverarbeitung). (Besset, Espa et al. 2005)

Schmid et al. (2005) untersuchten erstmals in einer doppelblinden Cross-over-Studie die Effekte einer UMTS-Exposition (1970 MHz, SAR = 0,63 W/kg und 0,063 W/kg, jeweils 40 Minuten) auf die visuelle Wahrnehmung bei 58 Teilnehmern. Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den verwendeten Expositionen und der Scheinexposition. (Schmid, Sauter et al. 2005)

In der Doppelblindstudie von **Aalto et al.** (2006) an 12 männlichen Probanden (902 MHz, mittlere Leistung 0,25 W, 50 Minuten) ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich Reaktionszeiten und Fehlerraten zwischen Exposition und Scheinexposition. (Aalto, Haarala et al. 2006)

Bei **Eliyahu et al.** (2006) wurden vier neuropsychologische Tests bei 36 Männern bei rechtsseitiger, linksseitiger (890 MHz, mittlere Leistung 0,25 W) und Scheinexposition durchgeführt. Bei rechtsseitiger Exposition zeigten sich keine Unterschiede in der Reaktionszeit. Bei linksseitiger Exposition waren die Ergebnisse bezüglich der Reaktionszeit in den vier verwendeten Tests inkonsistent. (Eliyahu, Luria et al. 2006)

In einer Doppelblindstudie von **Hamblin et al.** (2006) führten 120 Probanden kognitive Tests zur akustischen und visuellen Aufmerksamkeit durch (895 MHz, mittlere Leistung 0,25 W, 30 Minuten). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten in Zusammenhang mit der Exposition (rechts- und linksseitig). (Hamblin, Croft et al. 2006)

In der doppelblinden Cross-over-Studie von **Keetley et al.** (2006) zeigte sich bei der Durchführung von acht neuropsychologischen Tests (GSM-Exposition, mittlere Leistung 0,25 W und Scheinexposition) eine Verlängerung der Reaktionszeit. Die Ergebnisse für Leistungen des Arbeitsgedächtnisses waren inkonsistent, teilweise ergaben sich bessere teilweise aber auch schlechtere Leistungen unter Exposition. (Keetley, Wood et al. 2006)

Russo et al. (2006) untersuchten im Rahmen einer Doppelblindstudie an 168 Probanden die möglichen Auswirkungen einer 888 MHz Exposition (SAR = 11,2 W/kg, 35-40 Minuten) auf Reaktionszeit, Wahlreaktionszeit, Subtraktion und Aufmerksamkeit. Es traten keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten auf. (Russo, Fox et al. 2006)

Wilen et al. (2006a) führten an 20 gesunden und 20 sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Personen Tests bezüglich visueller Wahrnehmung, Kurzzeitgedächtnis und Reaktionszeit durch (900 MHz, 30 Minuten). Die Auswertung ergab keine Zusammenhänge bezüglich der Exposition (Wilen, Johansson et al. 2006).

Cinel et al. (2007) replizierten die Studie zur auditiven Diskriminationsaufgabe von **Maier et al.** (2004) mit einer höheren Anzahl von Probanden (168 Personen) mit einer 888 MHz Exposition (SAR = 11,2 W/kg, 40 Minuten). In der früheren Studie

zeigte sich eine Verschlechterung der Diskriminationsfähigkeit nach Mobiltelefonexposition. In der Replikationsstudie ergaben sich keine expositionsabhängigen Effekte, somit konnten die Ergebnisse der Vorgängerstudie nicht bestätigt werden. (Cinel, Boldini et al. 2007; Maier, Greter et al. 2004)

Haarala et al. (2007) untersuchten an 36 männlichen Teilnehmern unter Verwendung eines doppelblinden Designs die Effekte einer 902 MHz Exposition eines Mobiltelefons (SAR = 1,18 W/kg, 90 Minuten) auf neun verschiedene kognitive Tests bei linksseitiger, rechtsseitiger und Scheinexposition. Die Exposition zeigte keinen Einfluss auf die untersuchten Zielgrößen (Haarala, Takio et al. 2007).

In einer doppelblinden Cross-over-Studie von **Regel et al.** (2007) wurden 24 männliche Teilnehmer mit einer 900 MHz Exposition (kontinuierlich, pulsiert, Scheinexposition; 30 Minuten) exponiert. Im einfachen Reaktionstest und im Wahlreaktionstest zeigten sich keine expositionsabhängigen Unterschiede. In zwei Arbeitsgedächtnis-Tests war die Reaktionsgeschwindigkeit bei pulsmoduliertem Signal statistisch signifikant vermindert, bei kontinuierlichem Signal bestanden keine signifikanten Unterschiede. Die Korrektheit der Antworten unterschied sich nur bei einem Arbeitsgedächtnistest signifikant: Der Anteil richtiger Antworten war unter gepulstem Signal höher als bei kontinuierlichem Signal oder Scheinexposition. (Regel, Gottselig et al. 2007)

Eine aktuelle Meta-Analyse bezüglich der potentiellen Effekte der elektromagnetischen Felder von GSM-Mobiltelefonen fasste 19 dieser Studien zusammen (siehe Abbildung 4). Die Autoren kamen zu der Schlussfolgerung, dass die jeweilige Exposition die Aufmerksamkeit und das Arbeitsgedächtnis scheinbar leicht beeinflussten. Allerdings ist die Richtung dieses Effekts inkonsistent und die Assoziation nur auf einzelne Subtests beschränkt (Barth, Winker et al. 2008).

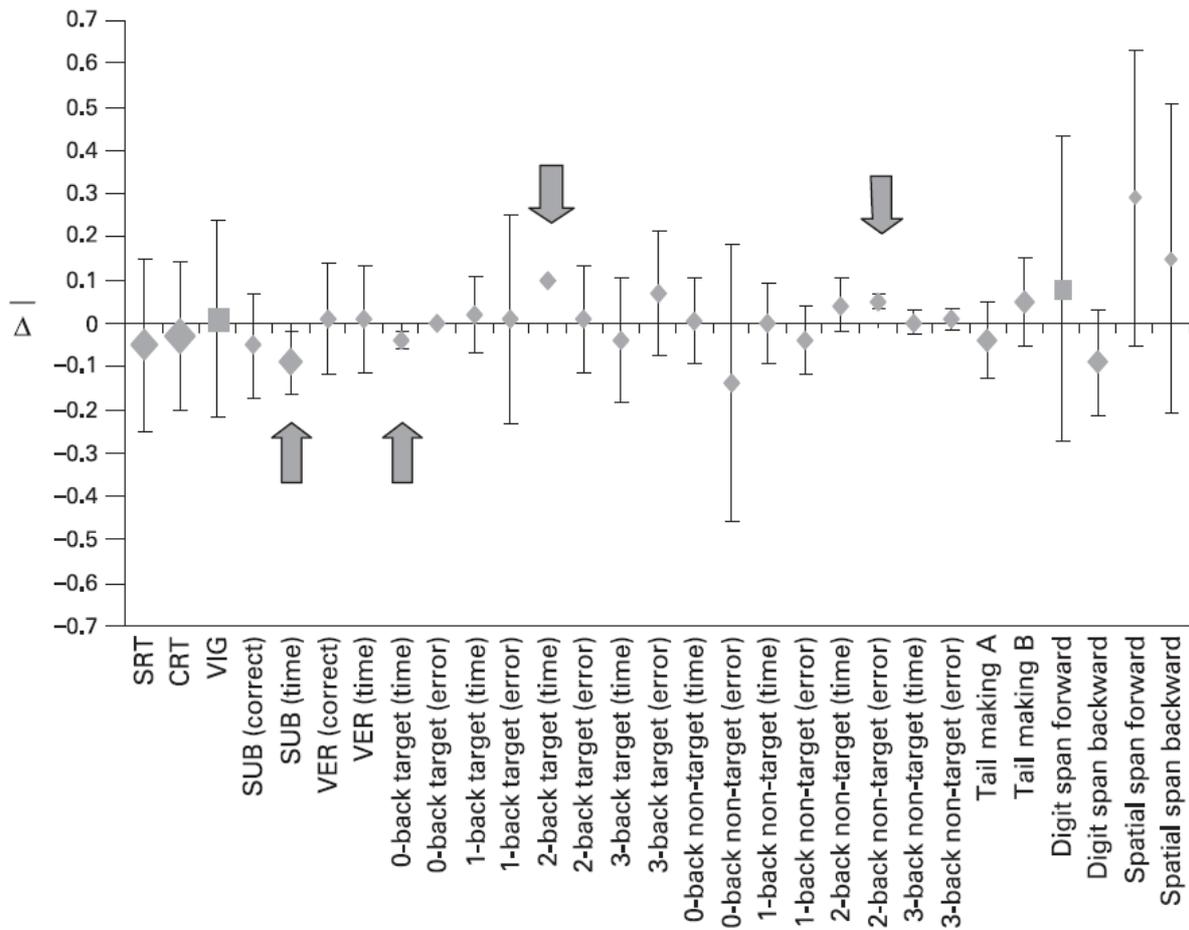


Abbildung 4: Metaanalytische Effektgrößen (Δ) und Konfidenzintervalle (aus Barth, Winker et al. 2008). \diamond = fixed effect models, \square = random effect models. Die Größe des Karos gibt die Anzahl der Probanden an; SRT = Simple Reaction Task, CRT = Choice reaction test, VIG = Vigilance, SUB = Subtraction, VER = Sentence Verification)

↑↓ kennzeichnen die signifikanten Studienergebnisse

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf kognitive Funktionen

In der sogenannten TNO-Studie von **Zwamborn et al. (2003)** ergaben sich inkonsistente Resultate bezüglich der überprüften kognitiven Fähigkeiten (Reaktionszeit, Erinnerungsvermögen, visuelle Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis) (Zwamborn, Vossen et al. 2003).

In der erweiterten Replikationsstudie zur TNO-Studie führten die Teilnehmer sechs kognitive Tests zur Reaktionszeit, zur Wahlreaktionszeit, zum Arbeitsgedächtnis und zur selektiven visuellen Aufmerksamkeit durch (2140 MHz Exposition, 1 V/m und 10

V/m). Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Veränderungen der kognitiven Fähigkeiten unter Exposition (Regel, Negovetic et al. 2006).

Epidemiologische Studien

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder bei Mobiltelefonnutzung auf kognitive Funktionen

Eine Übersicht aller erwähnten epidemiologischen Studien findet sich in Tabelle 6.

In einer skandinavischen Studie von **Oftedal et al.** (2000) gaben 5% der befragten Norweger und 1% der befragten Schweden mobilfunkbezogene Konzentrationsstörungen und 3% der Norweger sowie 1% der Schweden mobilfunkbezogene Gedächtnisstörungen an. In Norwegen wurden diese beiden Symptome von den insgesamt 11 abgefragten Beschwerden jedoch am seltensten genannt, in Schweden wurde lediglich Schwindel noch seltener angegeben. (Oftedal, Wilén et al. 2000)

In einer französischen Studie berichteten die befragten Mobilfunknutzer nicht häufiger von Konzentrations- und Gedächtnisproblemen als Nicht-Nutzer. Allerdings gaben Mobilfunknutzer eines GSM 1800 MHz-Mobiltelefons statistisch signifikant häufiger Konzentrationsstörungen an als Nutzer von GSM 900 MHz-Mobiltelefonen (Santini, Seigne et al. 2001).

In einer Querschnittsstudie aus Singapur ergaben sich bezüglich Konzentrationsschwierigkeiten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Mobiltelefonnutzern und Nicht-Nutzern (Chia, Chia et al. 2000).

Bei der Interpretation der Ergebnisse dieser epidemiologischen Studien ist zu beachten, dass die Expositionsabschätzung nicht valide ist, da die Angaben zur Mobilfunknutzung lediglich auf den Aussagen der Teilnehmer beruhen (vgl. Kapitel 2.2).

Möglicher Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf kognitive Funktionen

In einer in Frankreich durchgeführten Studie von **Santini et al.** (2002) gaben Probanden, die laut eigener Einschätzung bis zu 100 Meter von einer Basisstation entfernt wohnten, statistisch signifikant häufiger Konzentrations- und Gedächtnisstörungen an als Teilnehmer, die angaben weiter entfernt zu wohnen (Santini, Santini et al. 2002).

In einer spanischen Studie zeigte sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der selbstberichteten Entfernung zwischen Wohnung und Basisstation und Konzentrationsschwierigkeiten, jedoch nicht für Gedächtnisschwierigkeiten (Navarro, Segura et al. 2003).

In einer österreichischen Querschnittsstudie absolvierten die Teilnehmer kognitive Leistungstests zum Kurz- und Mittelzeitgedächtnis, zur Wahlreaktionszeit und zur Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Es zeigte sich eine statistisch signifikant schnellere Wahrnehmung in der am stärksten exponierten Gruppe (stationäre Messungen in den Schlafräumen). Die Korrektheit der Antworten nahm mit zunehmender Exposition tendenziell ab. Bezüglich Gedächtnis und Wahlreaktionszeit ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Expositionskategorien. Eine Korrektur für multiples Testen wurde allerdings nicht vorgenommen (Hutter, Moshhammer et al. 2006).

In einer dreimonatigen Felduntersuchung bezüglich der potentiellen Effekte der Exposition durch eine UMTS-Mobilfunkbasisstation zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Exposition, die in den Büros der Teilnehmer gemessen wurde, und den berichteten Konzentrationsschwierigkeiten der Teilnehmer (Heinrich, Ossig et al. 2007).

In der ersten epidemiologischen Querschnittsstudie mit Verwendung von Personendosimetrie ergaben sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der gemessenen Exposition und selbst berichteten Konzentrationsproblemen (Thomas, Kühnlein et al. 2008).

Fazit

In den experimentellen Studien bis Ende 2002 zeigten sich unter Mobilfunkexposition relativ konsistent Hinweise auf eine Verkürzung der Reaktionszeit. Die Resultate der neueren Studien sind eher uneinheitlich. Die Fehlerraten weisen sowohl in früheren als auch in den aktuelleren Studien überwiegend nicht auf einen Effekt der Exposition hin. Bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen Mobilfunkexposition und kognitiven Leistungen bei Kindern liegen erst zwei Studien vor (Haarala, Bergman et al. 2005; Preece, Goodfellow et al. 2005; ausführlichere Beschreibung siehe Kapitel 4), in denen sich keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Exposition und kognitiven Leistungen zeigten.

Die Unterschiede in den Ergebnissen bezüglich des Entstehungszeitpunkts der Studien sind möglicherweise auf die verbesserte methodische Qualität der neueren Studien zurückzuführen. Allerdings sind die zahlreichen Laborstudien nur begrenzt miteinander vergleichbar, da sie sich hinsichtlich Intensität, Dauer sowie Zeitpunkt der Exposition (Durchführung der kognitiven Tests während der Exposition oder nach deren Ende) unterscheiden (Hug, Rapp et al. 2006). Die Vergleichbarkeit von Laborstudien und epidemiologischen Studien ist ebenfalls begrenzt, da kognitive Testleistungen nicht mit dem subjektiven Empfinden von Konzentrations- und Gedächtnisschwierigkeiten gleichzusetzen sind (Röösli 2005).

Ein methodisches Problem ist gerade in den früheren Laborstudien die geringe Teilnehmerzahl. Da die statistische Power einer Studie bei Erhöhung der Fallzahl ebenfalls steigt, war in machen Laborstudien die statistische Power eventuell nicht ausreichend, um Unterschiede nachzuweisen. Auch wurde in vereinzelt Studien keine Korrektur für multiples Testen durchgeführt, daher könnten manche Resultate auch durch Zufall entstanden sein (Hug, Rapp et al. 2006). Bei den meisten der früheren epidemiologischen Studien tritt darüber hinaus das Problem einer nicht validen Expositionsabschätzung auf (vgl. Kapitel 2.2).

Aufgrund der inkonsistenten Ergebnisse ist eine abschließende Bewertung schwierig. Nach einer Einschätzung des Schweizer Bundesamtes für Umwelt verringern die Ergebnisse der neueren Laborstudien die Wahrscheinlichkeit, dass durch die Mobilfunkexposition kurzfristige Effekte auf kognitive Funktionen entstehen (Hug, Rapp et al. 2006).

2.3.5. Weitere Befindlichkeitsstörungen die mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Zusammenhang gebracht werden

Schwindel, Übelkeit

In den meisten epidemiologischen Studien fand sich kein Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und Schwindel bzw. Übelkeit (Chia, Chia et al. 2000; Santini, Seigne et al. 2001; Hutter, Moshammer et al. 2006) (Heinrich, Ossig et al. 2007). Die Studien von **Santinti et al.** (2003) und **Navarro et al.** (2003), welche eine nicht valide Expositionsabschätzung verwendeten (vgl. Kapitel 2.3.2.), zeigten jedoch einen statistisch signifikanten Zusammenhang (Santini, Santini et al. 2003; Navarro, Segura et al. 2003)). In einer skandinavischen Studie ergab sich eine Zunahme von Schwindel mit steigender Anzahl und Dauer der Mobiltelefonate für die norwegischen, aber nicht für die schwedischen Teilnehmer (Sandström, Wilen et al. 2001). In der Laborstudie von **Koivisto et al.** (2001) zeigte sich kein entsprechender Effekt (Koivisto, Haarala et al. 2001). Insgesamt gesehen gibt es wenig Evidenz für einen Einfluss der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks auf Schwindel und Übelkeit (Rööslü 2005).

Nervosität

Nervosität und Unruhe werden von betroffenen Personen häufig mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Zusammenhang gebracht. Allerdings wurden dazu bisher kaum Studien durchgeführt. **Zwamborn et al.** (2003 (Zwamborn, Vossen et al. 2003)) erfragten bezüglich des Wohlbefindens auch Nervosität der Teilnehmer. Bei den sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Probanden zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang bei einer Exposition von 2100 MHz im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Replikationstudie von **Regel et al.** (2006 (Regel, Negovetic et al. 2006)) konnte dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigen. In der Feldstudie von **Heinrich et al.** (2007 (Heinrich, Ossig et al. 2007)) ergab sich kein entsprechender Zusammenhang.

Depressive Verstimmung, Niedergeschlagenheit

In der Studie von **Zwamborn et al.** (2003) wurde unter anderem eine Subskala zu depressiven Symptomen abgefragt. Die Auswertung ergab allerdings keinen expositionsabhängigen Einfluss (Zwamborn, Vossen et al. 2003). Die Replikationsstudie von **Regel et al.** (2006) kam zum gleichen Ergebnis (Regel, Negovetic et al. 2006).

In den epidemiologischen Studien von **Navarro et al.** (2003) und **Santini et al.** (2003) ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang bezüglich Depression bei sich selbst als höher exponiert eingeschätzten Teilnehmern (Navarro, Segura et al. 2003; Santini, Santini et al. 2003). In der Studie von **Heinrich et al.** (2007), in der die Exposition gemessen wurde, zeigte sich hingegen kein Zusammenhang (Heinrich, Ossig et al. 2007).

Juckreiz, Kribbeln, Rötungen, „Wärmegefühl der Haut“

In der Laborstudie von **Koivisto et al.** (2001) ergab sich keine Zunahme von Hautproblemen oder Wärmegefühlen in Abhängigkeit von der Exposition (Koivisto, Haarala et al. 2001).

Die Ergebnisse bezüglich Hautprobleme aus den epidemiologischen Studien sind inkonsistent. In Skandinavien und Frankreich ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern bei Mobiltelefonnutzung und Hautproblemen (Oftedal, Wilén et al. 2000; Sandström, Wilén et al. 2001; Santini, Santini et al. 2002), in einer Studie aus Singapur (Chia, Chia et al. 2000) nur tendenziell und in weiteren Studien gar nicht (Navarro, Segura et al. 2003).

Für Wärmegefühle der Haut zeigte sich in einer skandinavischen Studie eine Zunahme der Symptome mit zunehmender Exposition (Sandström, Wilén et al. 2001), währenddessen sich in einer Studie aus Singapur keine Unterschiede zwischen Mobiltelefonnutzern und Nicht-Nutzern ergaben (Chia, Chia et al. 2000). In einer französischen Querschnittsstudie berichteten Mobiltelefonnutzer nicht häufiger Wärmegefühle als Nicht-Nutzer. Bei Probanden, die das Mobiltelefon länger als zwei Minuten täglich nutzen, trat das Symptom jedoch statistisch signifikant häufiger auf (Santini, Seigne et al. 2001).

Tinnitus, Ohrgeräusche

In der Bevölkerung bestehen Befürchtungen, dass die Mobiltelefonnutzung ein Risikofaktor für die Entstehung von Tinnitus sein könnte. Vieltelefonierer und Anwohner von Mobilfunkbasisstationen schildern unter anderem Symptome wie Ohrgeräusche (z.B. Navarro, Segura et al. 2003)), die sie auf die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zurückführen. **Ozturan et al.** (2002) untersuchten die akuten Effekte einer 900 MHz Exposition eines Mobiltelefons (Dauer 10 Minuten) auf das menschliche Hörvermögen. Es ergaben sich keine signifikanten Auswirkungen auf das auditorische System (Ozturan, Erdem et al. 2002). In einer österreichischen Studie zeigten sich jedoch Hinweise darauf, dass bei starker Mobiltelefonnutzung vermehrt Tinnitus auftreten könnte (Hutter, Moshhammer et al. 2006).

Bei **Santini et al.** (2003) wurden von Probanden, die nach eigenen Angaben in bis zu 50 Metern Entfernung von der Mobilfunkbasisstation wohnten, statistisch signifikant häufiger Hörstörungen angegeben als von Personen die laut Eigenangaben mehr als 300 Meter entfernt wohnten (Santini, Santini et al. 2003). Andere epidemiologische Studien mit teilweise objektiver Expositionsabschätzung fanden keinen Zusammenhang (Navarro, Segura et al. 2003; Heinrich, Ossig et al. 2007; Thomas, Kühnlein et al. 2008).

Kardiovaskuläres System und Hormone

Von Teilen der Bevölkerung werden Symptome wie Herzrasen und Bluthochdruck auf die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zurückgeführt. Die vorhandenen epidemiologischen Studien berichten z.T. bei Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen ein signifikant häufigeres Auftreten entsprechender Symptome (Navarro 2003, Hutter 2002). **Braune et al.** (2002) untersuchten daher den Einfluss eines elektromagnetischen Feldes (900 MHz, 2 Watt) auf kardiovaskuläre und hormonelle Parameter des autonomen Nervensystems. Unter anderem wurden während der Exposition alle 10 Minuten Blutdruck, Pulsschlag und der Cortisolspiegel überprüft. Die Ergebnisse unterstützten die Hypothese von athermischen Effekten elektromagnetischer Felder auf das kardiovaskuläre autonome Nervensystem nicht. (Braune, Riedel et al. 2002)

In einer Doppelblindstudie von **Haarala et al.** (2003) zeigte sich dagegen bei Exposition durch ein 902 MHz Mobiltelefon eine Verminderung des cerebralen Blutflusses, die mittels Positronen-Emissions-Tomographie (PET) erfasst wurde (Haarala, Bjornberg et al. 2003).

Es besteht auch die Hypothese, dass elektromagnetische Felder des Mobilfunks einen Einfluss auf die Melatoninausschüttung und damit wiederum auf die Entstehung von Schlafstörungen haben könnten. Dies konnte jedoch aus wissenschaftlicher Sicht bisher nicht bestätigt werden (Mann, Wagner et al. 1998; Radon, Parera et al. 2001).

Bei allen untersuchten Zielgrößen zeigte sich kein statistisch signifikanter Einfluss der Strahlungsexposition von Mobiltelefonen auf das endokrine System und das Immunsystem.

Tabelle 5: Übersicht über Human-Laborstudien zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf kognitive Funktionen

Literatur	Studiendesign	Studienpopulation	Exposition	Ergebnisse
Besset et al. (2005)	doppelblind	55 Personen	900 MHz, SAR = 0,54 W/kg, je 120 Minuten an 28 Tagen	kein Effekt bezüglich Reaktionszeiten, Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsleistung
Cinel et al. (2007)	doppelblind, Cross-Over	168 Personen	888 MHz, SAR (10g) = 1,4 W/kg, 40 Minuten	kein Effekt auf auditorische Wahrnehmung
Curcio et al. (2004)	doppelblind, Cross-Over	20 Personen	902 MHz, mittlere Leistung 0,25 W, 45 Minuten vor oder während Durchführung der Tests	verkürzte Reaktionszeiten
Edelstyn und Oldershaw (2002)	einfachblind, Parallelgruppen	38 Personen	900 MHz, SAR = 1,19 W/kg, 30 Minuten	verbesserte Aufmerksamkeitskapazität und verkürzte Verarbeitungsleistung
Eliyahu et al. (2006)	einfachblind, Cross-Over	36 Personen	890 MHz, mittlere Leistung 0,25 W, je 40 Minuten links- und rechtsseitig	bei rechtsseitiger Exposition kein Effekt auf Reaktionszeit, bei linksseitiger Exposition inkonsistente Ergebnisse
Haarala et al. (2003)	doppelblind, Cross-Over	64 Personen	902 MHz, mittlere Leistung 0,25 Watt, 65 Minuten	kein signifikanter Effekt der Exposition
Haarala et al. (2004)	doppelblind	64 Personen	902 MHz, mittlere Leistung 0,25 Watt, 2x 65 Minuten im Abstand von 24 Stunden	kein Effekt auf Reaktionszeit und Antwortgenauigkeit
Haarala et al. (2007)	doppelblind, Cross-Over	36 Personen	902 MHz, mittlere Leistung 0,25 W, 90 Minuten	kein Effekt auf Reaktionszeit und Aufmerksamkeitsleistung
Hamblin et al. (2004)	einfachblind, Cross-Over	12 Personen	895 MHz, SAR = 0,87 W, 30 Minuten	längere Reaktionszeiten, kein Effekt bezüglich Fehlerraten
Hamblin et al. (2006)	doppelblind, Cross-Over	120 Personen	895 MHz, mittlere Leistung 0,250 W, durchschnittliche SAR (10g) = 0.11 W/kg, 30 Minuten	kein Effekt bezüglich Reaktionszeit
Hinrichs und Heinze (2004)	doppelblind, Cross-Over	12 Personen	1870 MHz Feld, mittlere Leistung 0,125 W, 30 Minuten	kein Effekt bezüglich Reaktionszeiten und Fehlerraten
Keetley et al. (2006)	doppelblind, Cross-Over	120 Personen	900 MHz, mittlere Leistung 0,25 W, 2x 90 Minuten im Abstand von einer Woche	verlängerte Reaktionszeit, inkonsistente Ergebnisse bezüglich Arbeitsgedächtnisleistung
Koivisto et al. (2000)	einfachblind, Cross-Over	48 Personen	902 MHz, mittlere Leistung 0,25 Watt, 60 Minuten	reduzierte Reaktions- und Bearbeitungszeiten
Krause et al. (2004)	doppelblind, Cross-Over	24 Personen	902 MHz, SAR (1g) = 0,88 W/kg, 30 Minuten	signifikant höhere Fehlerrate
Lee et al. (2003)	einfachblind, Parallelgruppen	78 Personen	1900 MHz, keine Angabe zur Leistung, 30 Minuten	verkürzte Reaktionszeit
Preece et al.	k. A. zur Blindung,	36 Personen	915 MHz, mittlere Leistung 1 W,	Abnahme der Reaktionszeit Anstieg der

Literatur	Studiendesign	Studienpopulation	Exposition	Ergebnisse
(1999)	Cross-over		25-30 Minuten	Geschwindigkeit im Wahlreaktionstest
Regel et al. (2006)	doppelblind, Cross-Over	117 Personen (darunter 33 EHS)	2140 MHz, 1 V/m und 10 V/m, 45 Minuten	kein Effekt bezüglich Reaktionszeit, Arbeitsgedächtnisleistung, visueller Aufmerksamkeit
Regel et al. (2007)	doppelblind, Cross-Over	24 Personen	900 MHz, maximale SAR (10g) = 1 W/kg, 30 Minuten	bei gepulstem Signal verkürzte Reaktionszeit und Verbesserung der Fehlerrate
Russo et al. (2006)	doppelblind, Cross-Over	168 Personen	888 MHz, durchschnittliche SAR = 1,4 W/kg, 35-40 Minuten	kein Effekt bezüglich Reaktionszeit
Schmid et al. (2005)	doppelblind, Cross-Over	58 Personen	1970 MHz, SAR = 0,63 W/kg und 0,063 W/kg, jeweils 40 Minuten	kein Effekt auf visuelle Wahrnehmung
Smythe und Costall (2003)	einfachblind, Parallelgruppen	62 Personen	1800 MHz, SAR = 0,79 W/kg, 15 Minuten	nur bei Männern verbessertes Kurzzeitgedächtnis
Wilen et al. (2006)	einfachblind, Cross-Over	40 Personen (darunter 20 EHS)	900 MHz, maximaler SAR (10g) = 0.8 W/kg, 30 Minuten	kein Effekt bezüglich visueller Wahrnehmung, Kurzzeitgedächtnis und Reaktionszeit
Zwamborn et al. (2003)	doppelblind, Cross-Over	72 Personen (darunter 36 EHS)	900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz; 1 V/m, je 30 Minuten	inkonsistente Resultate bezüglich Reaktionszeit, Erinnerungsvermögen, visuelle Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnisleistung

EHS = sich selbst als elektrosensibel bzw. elektrosensitiv bezeichnende Personen

k. A. = keine Angabe

SAR = spezifische Absorptionsrate

Tabelle 6: Übersicht über epidemiologische Studien zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf kognitive Funktionen

Literatur	Design	Teilnehmer	Land	kognitive Zielgrößen	Exposition	Erfassung	Ergebnis
Chia et al. (2000)	Querschnittsstudie	808 Personen, Zufallsstichprobe	Singapur	Gedächtnis- und Konzentrations-schwierigkeiten	Mobiltelefon	Fragebogen	kein Effekt
Heinrich et al. (2007)	Feldstudie	95 Büro-Angestellte	Deutsch-land	Konzentrations-schwierigkeiten	UMTS-MBS	Messung in Büros der Teilnehmer	kein Effekt
Hutter et al. (2006)	Querschnittsstudie	365 Anwohner von MBS	Österreich	Reaktionszeit, Gedächtnis-leistung, Wahrnehmungsgeschwindigkeit	GSM-MBS	Messung in Schlafräumen	kein Effekt bezüglich Gedächtnisleistung und Reaktionszeit; verkürzte Wahrnehmungsgeschwindigkeit in der höher exponierten Gruppe
Oftedal et al. (2000) und Sandström et al. (2001)	Querschnittsstudie	ca. 11.000 Mobiltelefonnutzer	Norwegen und Schweden	Konzentrations- und Gedächtnis-störungen	Mobiltelefon	Fragebogen	keine Unterschiede bzgl. Konzentrations- und Gedächtnisstörungen zwischen Nutzern von analogen und digitalen Mobiltelefonen
Santini et al. (2001)	Querschnittsstudie	161 Personen	Frank-reich	Konzentrations- und Gedächtnis-schwierigkeiten	Mobiltelefon	Fragebogen	kein Unterschied zwischen Mobiltelefonnutzern und Nicht-Nutzern, Nutzer von 1800 MHz-Geräten signifikant häufiger Konzentrationsschwierigkeiten als Benutzer von 900 MHz-Telefonen
Santini et al. (2002)	Querschnittsstudie	530 Personen	Frank-reich	Konzentrations- und Gedächtnis-schwierigkeiten	GSM-MBS	Fragebogen	signifikant häufiger Konzentrations- und Gedächtnisstörungen bei Anwohnern in der Nähe der MBS
Navarro et al. (2003)	Querschnittsstudie	101 Anwohner von MBS	Spanien	Konzentrations- und Gedächtnis-schwierigkeiten	GSM-MBS	Fragebogen	signifikant häufiger Konzentrationsschwierigkeiten bei Anwohnern in der Nähe der MBS, kein Effekt für Gedächtnisschwierigkeiten
Thomas et al. (2008)	Querschnittsstudie	329 Personen	Deutsch-land	Konzentrations-schwierigkeiten	Mobiltelefon, MBS, WLAN	Messung (Personendosimeter)	kein Effekt

GSM = Global System for Mobile Communications; UMTS = Universal Mobile Telecommunication System; MBS = Mobilfunkbasisstation

3. Das Phänomen der „Elektrosensibilität“⁴

3.1. Definition

Über das Phänomen der „Elektrosensibilität“ wurde erstmals in den 80er Jahren an Bildschirmarbeitsplätzen berichtet (Hillert, Hedman et al. 1999), mittlerweile stehen weltweit hauptsächlich die hochfrequenten Felder des Mobilfunks im Mittelpunkt der Diskussion (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) 2007). Unter „Elektrosensibilität“ versteht man subjektive, adverse Effekte auf die Gesundheit, die auf elektromagnetische Felder zurückgeführt werden (Schreier 2006). Ein kleiner Teil der Bevölkerung klagt über unspezifische Symptome, welche von den Betroffenen als von elektromagnetischen Feldern des Alltags verursacht angesehen werden. Die Tatsache, dass die Mehrheit der Allgemeinbevölkerung unter den gleichen Expositionsbedingungen keinerlei Symptome schildert, führen die Betroffenen auf ihre eigene „Elektrosensibilität“, also auf eine gesteigerte Empfindlichkeit gegenüber elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern zurück (David, Reißerweber et al. 2002; Hietanen, Hämäläinen et al. 2002; Leitgeb, Friedrich et al. 2002; Frick, Kharraz et al. 2005; Eltiti, Wallace et al. 2007).

Das Phänomen der „Elektrosensibilität“ ist nicht auf Felder einer bestimmten Frequenz beschränkt, sondern tritt bei elektromagnetischen Feldern unterschiedlichster Quellen (auch im Niederfrequenzbereich) auf. Manche der Betroffenen klagen nur über leichte Symptome, andere haben so starke Symptome, dass sie ihren Arbeitsplatz aufgeben und ihr komplettes Leben auf eine möglichst „EMF-freie“ Lebensweise umstellen (Hansson Mild, Repacholi et al. 2004).

Verschiedene Autoren betonen, dass Elektrosensitivität nicht zwangsläufig eine Elektrosensibilität nach sich führen muss (Rubin, Das Munshi et al. 2005)

Bei einem Workshop der World Health Organisation (WHO) im Oktober 2004 zum Thema der “Electrical Hypersensitivity (EHS)” wurde vorgeschlagen EHS durch den Begriff „Idiopathic Environmental Intolerance (IEI) with attribution to EMF“ zu ersetzen, da EHS impliziert, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen den geschilderten Symptomen und elektromagnetischen Feldern bestehen würde

⁴ In Anlehnung an die Dissertation von Dipl.-Psych. Sabine Heinrich (in Vorbereitung)

(Hansson Mild, Repacholi et al. 2004; WHO 2004). Diese Definition hat sich aber bislang nicht durchgesetzt.

3.2. Prävalenz und Symptome

Nach Leitgeb (1994, 1998, zitiert nach David et al. 2002) sind 2% der Allgemeinbevölkerung elektrosensibel (David, Reißerweber et al. 2002). Laut einer im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) im Jahr 2006 durchgeführten Umfrage attribuierten in Deutschland 9% der Allgemeinbevölkerung über 14 Jahren gesundheitliche Beeinträchtigungen auf elektromagnetische Felder des Mobilfunks (Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2006). Im Rahmen einer weiteren deutschlandweit durchgeführten Querschnittsstudie brachten 10% der Befragten (ab 14 Jahren) gesundheitlichen Beeinträchtigungen mit elektromagnetischen Feldern von Mobilfunksendeanlagen in Zusammenhang (Berg, Breckenkamp et al. 2007). In beiden Studien war ein Nord-Südgefälle zu erkennen. In Mecklenburg-Vorpommern war der Anteil derjenigen, die gesundheitliche Beschwerden auf elektromagnetische Felder durch Mobilfunkbasisstationen zurückführen mit 6% am geringsten und in Bayern mit 13% am höchsten (Berg, Breckenkamp et al. 2007).

Populationsbezogene Umfragen aus anderen Ländern berichten unterschiedliche Prävalenzen von selbstberichteter Elektrosensibilität. Diese variieren leicht zwischen 1,5% in Schweden (Hillert, Berglind et al. 2002), über 3,2% in Kalifornien (Levallois, Neutra et al. 2002), 4% in Großbritannien bis zu 5% in der Schweiz (Schreier, Huss et al. 2006). In manchen Studien fanden sich Hinweise darauf, dass mehr Frauen als Männer von Elektrosensibilität betroffen sind (Hillert und Kolmodin-Hedman 1997; Röösl, Moser et al. 2004).

Die Symptome, die von betroffenen Personen berichtet werden, sind alle unspezifisch und treten in der Allgemeinbevölkerung relativ häufig auf. Art, Häufigkeit und Intensität der Symptome sind bei den Betroffenen sehr verschieden. Die geschilderten Symptome reichen von Schlafstörungen, Müdigkeit und Konzentrationsstörungen über Ohrgeräusche und trockene Haut bis hin zu Appetitlosigkeit und kardiovaskulären Symptomen (Hillert, Hedman et al. 1999; David, Reißerweber et al. 2002; Frick, Rehm et al. 2002; Hietanen, Hämäläinen et al.

2002; Berg, Schüz et al. 2004; Röösl, Moser et al. 2004; Frick, Mayer et al. 2006; Eltiti, Wallace et al. 2007). In einer von Schüz et al. (2004) untersuchten Gruppe von Elektrosensiblen in Deutschland waren die häufigsten Beschwerden Schlafstörung, Konzentrationsstörung, Müdigkeit, Mattigkeit, Erschöpfung, Vergesslichkeit und Reizbarkeit. (Schüz, Petters et al. 2004)

Bisher konnte kein einheitliches Symptommuster bzw. kein charakteristisches Krankheitsbild gefunden werden (David, Reißerweber et al. 2002; Hillert, Hedman et al. 1999; Leitgeb 2000). Dies mag teilweise auch daran liegen, dass es nach wie vor kein allgemein anerkanntes Diagnosekriterium bzw. -instrument gibt.

3.2.1. Erhebungsinstrumente

Für den deutschsprachigen Raum entwickelten **Frick et al.** (2006) eine Beschwerdenliste, welche die 4-Wochen-Prävalenz von Beschwerden erfasst, die in der wissenschaftlichen Literatur und/oder von sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Personen in Zusammenhang mit einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern genannt wurden. An einer repräsentativen Stichprobe von Bewohnern einer kleineren Großstadt (n = 758) wurden die Prävalenzen der 36 Beschwerden erfasst, um eine allgemeine Basisprävalenz von EMF-bezogenen, subjektiven Beschwerden in der Allgemeinbevölkerung zu erhalten. Die häufigsten Beschwerden waren Mattigkeit, Tagesmüdigkeit, Kopfschmerzen, Konzentrationsprobleme, Nackenschmerzen und Muskelverspannungen mit einer 4-Wochen-Prävalenz von über 50%. (Frick, Mayer et al. 2006).

Eltiti et al. (2007) entwickelten eine Skala, die den Typ und die Schwere der Symptome von elektrosensiblen Personen überprüft. Somit gibt es nun auch ein englischsprachiges Screeninginstrument (57 Symptome) mit dessen Hilfe Forscher potentiell „elektrosensibel“ Personen identifizieren und für die Teilnahme an ihren Studien auswählen können. (Eltiti, Wallace et al. 2007)

Mit Hilfe der dargestellten Erhebungsinstrumente kann allerdings nur die selbstberichtete Elektrosensibilität bestimmt werden, bei der Bezeichnung als „elektrosensibel“ handelt es sich nicht um eine medizinische Diagnose.

3.3. Studien zum Phänomen der „Elektrosensibilität“

Bei Studien zur „Elektrosensibilität“ handelt es sich in der Regel entweder um Provokationsstudien bezüglich einer möglichen Wahrnehmbarkeit von elektromagnetischen Feldern oder um Studien, die durch einen Vergleich von sich selbst als „elektrosensibel“ einschätzenden Personen und Personen ohne diese Beschwerde versuchen, die zugrunde liegenden Ursachen bzw. Wirkmechanismen für die auftretende „Elektrosensibilität“ zu ergründen. Die nachfolgend erwähnten Studien beschränken sich auf die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks.

Studien an Kindern und Jugendlichen gibt es zum Thema der „Elektrosensibilität“ bisher nicht, alle der bisherigen Studien wurden an Erwachsenen durchgeführt.

3.3.1. Provokationsstudien

Bei Provokationsstudien werden die verwendeten elektromagnetischen Felder ohne Wissen der Versuchsteilnehmer in bestimmten Abständen ein- und ausgeschaltet. Anschließend werden die Probanden jeweils zur An- bzw. Abwesenheit des Feldes befragt, um eine mögliche Wahrnehmungsfähigkeit für elektromagnetische Felder zu überprüfen (Radon und Maschke 1998; Kwon, Koivisto et al. 2008). In anderen Provokationsstudien wurde nach den auftretenden Symptomen gefragt, um so zu untersuchen, ob ein kausaler Zusammenhang zwischen der Mobilfunkstrahlung und dem Auftreten von unspezifischen Beschwerden vorliegt (Koivisto, Haarala et al. 2001; Zwamborn, Vossen et al. 2003; Fritzer, Goder et al. 2007; Leitgeb 2007). Manche Provokationsstudien kombinierten auch diese beiden Fragestellungen (Hietanen, Hämäläinen et al. 2002; Regel, Negovetic et al. 2006; Rubin, Hahn et al. 2006; Heinrich, Ossig et al. 2007; Oftedal, Straume et al. 2007; Hillert, Akerstedt et al. 2008). Die meisten der bisherigen Provokationsstudien wurden im Doppelblinddesign und im Labor durchgeführt. Es gibt jedoch auch zwei Feldstudien zum Thema (Heinrich, Ossig et al. 2007; Leitgeb 2007). „Doppelblind“ bedeutet, dass weder die Versuchspersonen noch die Versuchsleitung wissen, wann und mit welcher Art von elektromagnetischen Feldern der Proband tatsächlich exponiert wird und wann nicht.

Bei den Probanden handelte es sich entweder um gesunde Probanden (Koivisto, Haarala et al. 2001; Fritzer, Goder et al. 2007) oder um sich selbst als elektrosensibel bzw. elektrosensitiv bezeichnende Personen (Radon und Maschke

1998; Hietanen, Hämäläinen et al. 2002; Leitgeb 2007; Oftedal, Straume et al. 2007). Oft wurden auch Probanden aus beiden Personengruppen in den Studien beteiligt (Zwamborn, Vossen et al. 2003; Regel, Negovetic et al. 2006; Wilen, Johansson et al. 2006; Eltiti, Wallace et al. 2007; Heinrich, Ossig et al. 2007; Hillert, Akerstedt et al. 2008; Kwon, Koivisto et al. 2008).

Dauer und Anzahl der Provokationen fielen in den Studien sehr unterschiedlich aus, zudem wurden verschiedene Expositionsbedingungen (Exposition, Scheinexposition) sowie verschiedene Frequenzen und Feldstärken verwendet. In den meisten Provokationsstudien wurde ein Signal ähnlich eines GSM-Mobiltelefons mit 900 MHz verwendet. Es wurden aber auch Expositionen, wie sie von einer Basisstation ausgesendet werden, eingesetzt (Radon und Maschke 1998; Zwamborn, Vossen et al. 2003; Regel, Negovetic et al. 2006; Eltiti, Wallace et al. 2007; Leitgeb 2007). Eine Übersicht der genannten Provokationsstudien findet sich in Tabelle 7.

3.3.2. Wahrnehmung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks

In keiner der bisher vorliegenden Studien erwies sich die Wahrnehmungsfähigkeit der Probanden für elektromagnetische Felder des Mobilfunks als höher als die Zufallswahrscheinlichkeit (Radon und Maschke 1998; Hietanen, Hämäläinen et al. 2002; Regel, Negovetic et al. 2006; Rubin, Hahn et al. 2006; Eltiti, Wallace et al. 2007; Heinrich, Ossig et al. 2007; Oftedal, Straume et al. 2007; Hillert, Akerstedt et al. 2008; Kwon, Koivisto et al. 2008). In den neueren Studien wurden im Vergleich zu früheren Studien relativ große Fallzahlen (z.B. Eltiti 2007: 176 Probanden; Rubin 2006: 120 Teilnehmer), eine hohe Anzahl von Durchläufen (Kwon et al. 2008: 84 Probanden mit jeweils 600 Durchläufen) und relativ lange Expositionszeiten (Fritzer, Goder et al. 2007; Leitgeb 2007; Hillert, Akerstedt et al. 2008) erreicht.

Obwohl eine Wahrnehmungsfähigkeit für elektromagnetische Felder des Mobilfunks bisher nicht erwiesen werden konnte, kann jedoch nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass eine kleine Subgruppe der Bevölkerung in der Lage ist, auch niedrige Mobilfunkexpositionen des Alltags wahrzunehmen. Bisher konnten solche Personen allerdings in keiner Studie identifiziert werden (Röösli 2008).

3.3.3. Symptome aufgrund elektromagnetischer Felder des Mobilfunks

Die meisten der bisherigen Provokationsstudien konnten nicht bestätigen, dass die sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Teilnehmer auf die verwendeten elektromagnetischen Felder mit akut auftretenden Befindlichkeitsstörungen reagieren würden (Koivisto, Haarala et al. 2001; Hietanen, Hämäläinen et al. 2002; Regel, Negovetic et al. 2006; Rubin, Hahn et al. 2006; Wilen, Johansson et al. 2006; Fritzer, Goder et al. 2007; Heinrich, Ossig et al. 2007; Leitgeb 2007; Oftedal, Straume et al. 2007). Bei **Hillert et al.** (2008 (Hillert, Akerstedt et al. 2008)) traten in der Gruppe der nicht-elektrosensiblen Probanden unter der Expositionsbedingung häufiger und stärkere Kopfschmerzen auf, jedoch nicht bei den „Elektrosensiblen“. In der Doppelblindstudie von **Zwamborn et al.** (2003) fiel das Befinden der Probanden unter der UMTS-Bedingung signifikant schlechter als unter der Placebo-Bedingung und unter den GSM-Bedingungen aus (Zwamborn, Vossen et al. 2003). Eine Replikationsstudie aus der Schweiz konnte dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigen (Regel, Negovetic et al. 2006).

In einigen Studien fanden sich Hinweise für das Auftreten eines Nocebo-Effekts (Regel, Negovetic et al. 2006; Rubin, Hahn et al. 2006; Eltiti, Wallace et al. 2007; Heinrich, Ossig et al. 2007; Leitgeb 2007; Oftedal, Straume et al. 2007; Hillert, Akerstedt et al. 2008). Dies bedeutet, dass die im Rahmen einer Provokationsstudie vermeintlich vorhandenen Felder mit einem schlechteren Befinden korreliert sind. Die Testsituation erzeugt negative Erwartungen, die ihrerseits Beschwerden verursachen. Allgemein wird mit „Nocebo“ das Phänomen bezeichnet, dass „subjektive Krankheitserwartungen und damit verbundene affektive Zustände tatsächlich Krankheiten verursachen“ können (Hahn 1996; S.64). Die von Nocebos hervorgerufenen Krankheiten können vorübergehend sein, aber auch chronisch werden. Für Nocebos ist zudem typisch, dass die jeweiligen Symptome je nach Land und Kultur sehr unterschiedlich ausfallen können, da Erwartungen im soziokulturellen Umfeld gelernt werden (Hahn 1997).

3.3.4. Fazit

Eine aktuelle Übersichtsarbeit zum Thema der Elektrosensibilität und Elektrosensitivität sah keine Hinweise auf eine vorhandene Wahrnehmungsfähigkeit elektromagnetischer Felder und nur eine geringe Evidenz dafür, dass

elektromagnetische Felder des Mobilfunks gesundheitliche Symptome verursachen könnten. Des Weiteren wurde festgestellt, dass manche Studien Evidenz für das Auftreten eines Nocebo-Effekts geben (Rööslü 2008). In einem weiteren Review, welches auch Studien aus dem niederfrequenten Bereich mit einbezog, schlussfolgerten die Autoren, dass psychologische Mechanismen bei der Verursachung und Aufrechterhaltung der Elektrosensibilitäts-Symptome eine Rolle spielen könnten (Rubin, Das Munshi et al. 2005).

Somit ist nach dem heutigen Wissensstand die Existenz der Elektrosensibilität nicht gesichert, auch wurde bisher kein plausibler und möglicher Wirkungsmechanismus entdeckt (Hansson Mild, Repacholi et al. 2004; Rubin, Cleare et al. 2008). Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass bestimmte individuelle Wahrnehmungsinhalte noch nicht durch die zur Verfügung stehende und durch die Wissenschaft anerkannte valide Messtechnik und Messmethodik objektivierbar sind bzw. sich durch einen solchen Messvorgang nicht repräsentieren lassen (Seitz, Stinner et al. 2005).

3.4. Die Entstehung von „Elektrosensibilität“

3.4.1. Ursachenforschung

In verschiedenen Studien wurde versucht zu ergründen, was elektrosensible Personen von der Allgemeinbevölkerung unterscheidet. Bisher wurden aber keine biologischen Parameter gefunden, die Anhaltspunkte für einen Wirkungsmechanismus ergeben würden. So prüften **Hillert et al.** (2001) die Hypothese, dass die Müdigkeit von sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Personen auf Veränderungen in der Cholinesteraseaktivität zurückzuführen sei. Hinweise darauf hatten sich zuvor in einem Experiment mit Ratten ergeben. Die Ergebnisse stützen diese Hypothese allerdings nicht. Bei keinem der elektrosensiblen Probanden wurde eine Reduktion der Cholinesteraseaktivität festgestellt. (Hillert, Flato et al. 2001)

Lyskov et al. (2001) erfassten in ihrer Studie mögliche neurophysiologische Effekte eines niederfrequenten magnetischen Feldes auf Elektrosensible und Kontrollpersonen. Aufgezeichnet wurden das EEG, visuell evozierte Potentiale, elektrodermale Aktivität, EKG und Blutdruck. Das Magnetfeld zeigte weder bei der

Kontroll- noch bei der Experimentalgruppe einen Einfluss auf die erhobenen Variablen. Nach Ansicht der Autoren lieferten Gruppenunterschiede in den Ausgangswerten Anzeichen dafür, dass sich selbst als elektrosensibel bezeichnende Personen eine ausgeprägte Sensitivität gegenüber körperlichen und psychosozialen Umweltfaktoren haben. (Lyskov, Sandström et al. 2001) In Einklang dazu stehen auch die Ergebnisse einer Fragebogenuntersuchung von **Rööslí et al.** (2004). Deren elektrosensible Probanden waren häufiger krank als die Allgemeinbevölkerung, was auf eine generell höhere Empfindlichkeit (nicht nur gegenüber elektromagnetischen Feldern) hinweisen könnte. (Rööslí, Moser et al. 2004)

In einer weiteren Untersuchung bezüglich persönlicher Faktoren, die die Entwicklung von Befindlichkeitsstörungen durch EMF begünstigen könnten, zeigte sich ebenfalls ein häufigeres Auftreten von EMF-bezogenen Symptomen bei Personen, die eine höhere Tendenz zur Somatisierung haben (Frick, Rehm et al. 2002).

3.4.2. Mögliche Rolle psychosozialer Faktoren

Hinweise darauf, dass psychosoziale Faktoren bei der Entstehung und Aufrechterhaltung der „Elektrosensibilität“ eine Rolle spielen könnten, gibt es schon länger. Bereits die europäische Kommission um **Bergqvist et al.** (1998) stellte fest, dass es in manchen Provokationstests zu „psychologischen Effekten“ im Sinne eines Nocebo-Effekts kam (Bergqvist, Vogel et al. 1998). Dies bestätigte sich auch in den oben dargestellten neueren Studien (Regel, Negovetic et al. 2006; Rubin, Das Munshi et al. 2006; Eltiti, Wallace et al. 2007; Heinrich, Ossig et al. 2007; Leitgeb 2007; Oftedal, Straume et al. 2007; Hillert, Akerstedt et al. 2008).

Weitere Hinweise lieferten auch Studien, in denen die Wirkung einer kognitiv-verhaltenstherapeutischen Behandlung auf die sich selbst als elektrosensibel bezeichnenden Probanden untersucht wurde und sich deren Befindlichkeit dadurch verbesserte (z.B. Andersson, Berg et al. 1996; Hillert und Kolmodin-Hedman 1997; Harlacher 1998; Hillert, Kolmodin Hedman et al. 1998; Hillert, Berglind et al. 2002).

In zahlreichen Studien wurde auch untersucht, ob Stress eine Rolle bei der Entstehung von Elektrosensibilität an Bildschirmarbeitsplätzen spielt (Berg, Arnetz et al. 1992; Bergdahl 1995; Andersson, Berg et al. 1996; Berg und Arnetz 1996). Hierbei wurde der Begriff „Techno-Stress“ geprägt. Damit ist Stress gemeint, der bei der Nutzung einer neuen Technologie auftritt, die eine höhere Produktivität erlauben

soll, aber für manche Personen schwer zu handhaben ist (Arnetz und Wiholm 1997). Techno-Stress könnte zur Entstehung von Elektrosensibilität gegenüber Bildschirmen beigetragen. So konnte beispielsweise in der Studie von Hillert et al. (1997) gezeigt werden, dass bei den meisten Bildschirmarbeit-Elektrosensiblen mehr psychosozialer Stress wie steigende Arbeitsbelastung, Familienprobleme etc. vorhanden war. Auch die berufliche Nutzung des Mobiltelefons kann zu erhöhtem Stress führen. (Hillert und Kolmodin-Hedman 1997)

Allgemein ist bekannt, dass psychische Faktoren zur Entwicklung oder Aufrechterhaltung unspezifischer gesundheitlicher Beschwerden führen können (Eberlein-König, Przybilla et al. 2002), siehe auch das biospsychosoziales Modell von Uexküll, 1997 (Uexküll 1997). Die Umwandlung von Stress und psychischen Problemen in physische Symptome ist somit ein elementares natürliches Mittel des Körpers, um mentalen Stress zu kompensieren (Lidén 1996).

Beim Phänomen der Elektrosensibilität könnte es sich somit um eine Fehlattribution handeln. Matyssek und Neuser (2002) beschreiben sehr ausführlich die Entstehung und Aufrechterhaltung von umweltbezogenen Fehlattributionen (Matyssek und Neuser 2002). Bezüglich der Bildschirmarbeitsplätze würde dies bedeuten, dass die stress-bezogenen Symptome auf die elektromagnetischen Felder des Geräts attribuiert werden. Ist die Attribution einmal gemacht, kann der Gebrauch jeder neuen Technologie von weiteren Symptomen wachsender Angst begleitet sein, was wiederum zu gesteigerter Symptomwahrnehmung führt (Schweiger und Parducci 1981; Petrie, Moss-Morris et al. 2004).

Ein Risikofaktor für die Entstehung einer solchen Assoziation ist eine bereits vorhandene Besorgnis bezüglich gesundheitlicher Effekte elektromagnetischer Felder (MacGregor und Fleming 1996; Petrie, Sivertsen et al. 2001; Frick, Rehm et al. 2002; Van den Bergh, Winters et al. 2002; Petrie, Broadbent et al. 2005; Rubin, Cleare et al. 2008). So zeigten Studien, dass die Prävalenz von Symptomen, die mit Umweltrisiken in Zusammenhang gebracht werden, mit Besorgnis bezüglich dieser Aspekte korreliert ist (MacMahan und Meyer 1995; Hutter, Moshammer et al. 2006; Berg, Breckenkamp et al. 2007; Rubin, Cleare et al. 2008). Allerdings können viele Studienergebnisse aufgrund ihres Designs (z.B. Querschnittsstudie) keine Aussage darüber treffen, ob die Besorgnis bezüglich bestimmter Umweltrisiken eine Ursache oder ein Effekt der wahrgenommenen Elektrosensibilität ist. In experimentellen

Studien konnte jedoch gezeigt werden, dass die Besorgnis die Entwicklung von Symptomen nach der Exposition durch einen besorgniserregenden Umweltstimulus erleichtern kann (Winters, Devriese et al. 2003; Petrie, Broadbent et al. 2005). Negative Erwartungen spielen somit eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung, Aufrechterhaltung und Generalisierung (Rubin, Cleare et al. 2008).

3.4.3. Entstehungsmodelle der Elektrosensibilität

Harlacher und Schahn (1998) entwickelten aus ihren klinischen Erfahrungen mit sich selbst als elektrosensibel einschätzenden Personen in Schweden ein multifaktorielles Erklärungsmodell der Elektrosensibilität, welches sich in drei Phasen gliedert (s. Abbildung 5) (Harlacher und Schahn 1998).

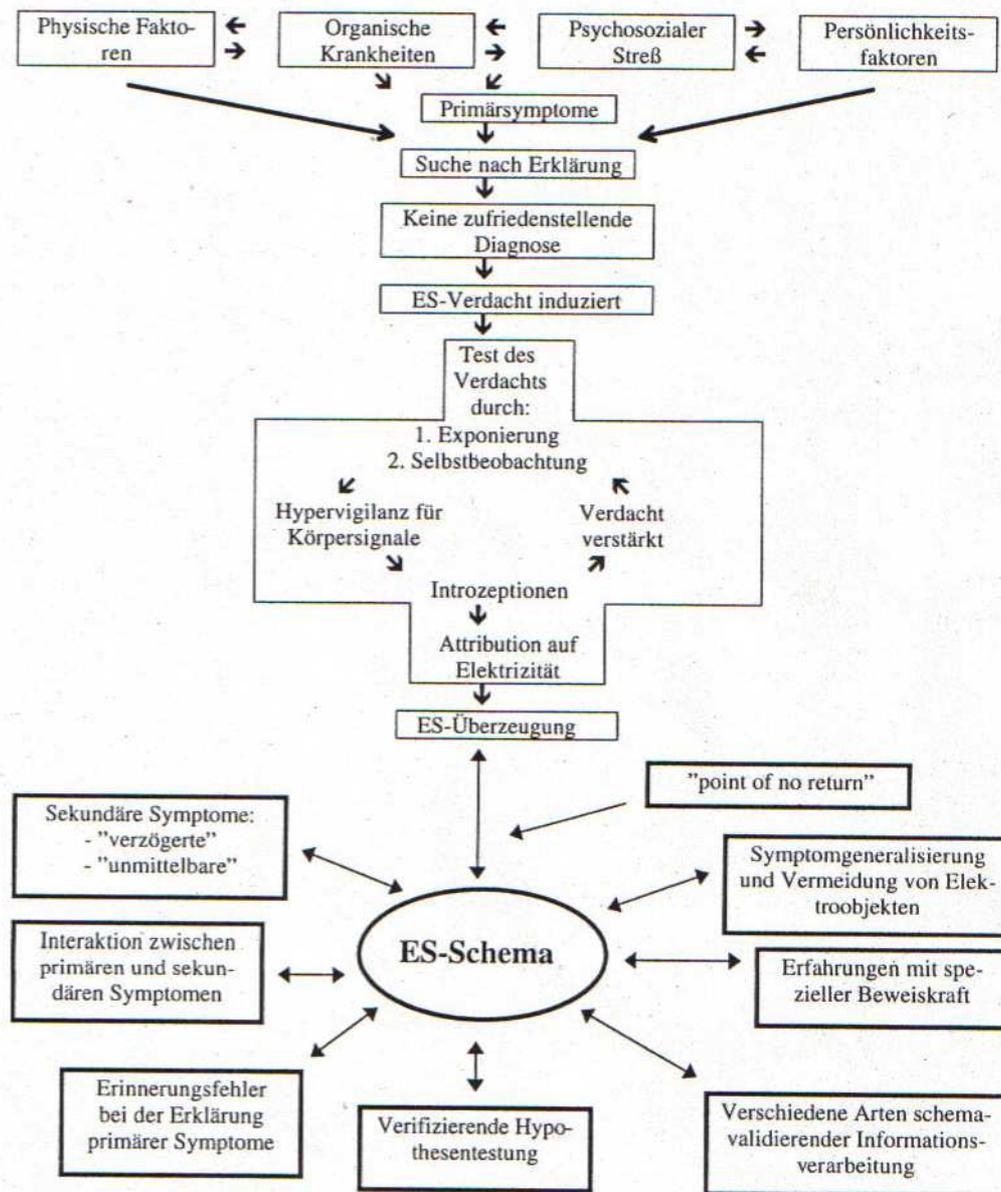


Abbildung 5: Vorschlag eines Erklärungsmodells für „Elektrosensibilität“ (Harlacher und Schahn 1998)

In Phase I erleben die betroffenen Personen gesundheitliche Beschwerden, für deren Entstehung sie nach einer zufriedenstellenden Erklärung suchen. In Phase II entsteht bei den Betroffenen der Verdacht, dass ihre Symptome auf Elektrosensibilität zurückzuführen sein könnten. Über Selbstexpositions- und Selbstbeobachtungsexperimente entwickelt sich aus dem Verdacht eine Überzeugung, da die Wahrscheinlichkeit für Fehlattritionen hoch ist. Letztendlich entwickelt sich bei den betroffenen Personen in Phase III ein selbstvalidierendes kognitives Schema, durch welches die Elektrosensibilitätsüberzeugung aufrechterhalten wird. Laut den Autoren ist ein bereits weit entwickeltes

3.5. Gesamtfazit

Abschließend lässt sich festhalten, dass durch wissenschaftliche Untersuchungen bisher kein Kausalzusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und den von Betroffenen geschilderten subjektiven Beschwerden nachgewiesen werden konnte (Hansson Mild, Repacholi et al. 2004; Rösli 2008). Basierend auf dem heutigen Wissen ist die Entstehung von Elektrosensibilität wohl am besten als multikausal zu beschreiben, wobei sowohl psychologische Faktoren als auch Nocebo-Effekte eine Rolle zu spielen scheinen (Rubin, Hahn et al. 2006; Oftedal, Straume et al. 2007).

Nichtsdestotrotz besteht auf dem Gebiet der Elektrosensibilität und Elektrosensitivität nach wie vor Forschungsbedarf, um das Phänomen genauer beschreiben und mögliche Ursachen für die auftretenden Symptome identifizieren zu können. Von Vorteil wäre es, wenn sich die Wissenschaft auf eine einheitliche Definition einigen könnte, um so die Verwendung eines einheitlichen Diagnoseinstruments und eine größere Vergleichbarkeit der Forschungsergebnisse zu ermöglichen. Wichtig ist es auch, die gesundheitlichen Beschwerden der Betroffenen ernst zu nehmen, da diese darunter leiden und teilweise sehr stark in ihrer Lebensführung beeinträchtigt sind. Der Entwicklung adäquater Therapiekonzepte sollte daher Priorität eingeräumt werden.

Tabelle 7: Überblick über Provokationsstudien zur Wahrnehmung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und durch sie bedingte Symptomentstehung

Literatur	Design	Probanden	Exposition	Intensität	Dauer	Ergebnis
Cinel et al. (2008)	Laborstudie, doppelblind	496 nicht-EHS	888 MHz gepulst, 888 MHz ungepulst, Scheinexposition	SAR = 1,4 W/kg	jeweils 40 Minuten	kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Eltiti et al. (2007)	Laborstudie, doppelblind	44 EHS 115 nicht-EHS	Basisstation GSM (Kombination 900 und 1800 MHz), UMTS, Scheinexposition	10 mW/m ²	3x 5 Minuten und 3x 50 Minuten (Scheinexposition, GSM, UMTS)	keine Wahrnehmung von emf; kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Fritzer et al. (2007)	Laborstudie, k.A. ob doppel- oder einfachblind	20 nicht-EHS	GSM 900 Antenne oder Scheinexposition	SAR(1g) = 0,875 W/kg	6 aufeinanderfolgende Nächte	keine Auswirkungen von emf auf Schlafparameter
Heinrich et al. (2007)	Feldstudie, doppelblind	6 EHS 89 nicht-EHS	Basisstation UMTS, Scheinexposition	im Mittel 0,1 V/m	während 70 Tagen MBS an der Hälfte der Tage an	keine Wahrnehmung von emf
Hietanen et al. (2002)	Laborstudie, doppelblind	20 EHS	Mobiltelefon: analog (NMT 900 MHz), GSM 900, GSM 1800, Scheinexposition	1 W (NMT), 0,25 W (GSM 900), 0,125 (GSM 1800)	jeweils 30 Minuten	keine Wahrnehmung von emf, kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Hillert et al. (2008)	Laborstudie, doppelblind	38 EHS 33 nicht-EHS	884 MHz Mobiltelefon, Scheinexposition	SAR ₁₀ = 1,95 W/kg	3 Stunden	keine Wahrnehmung von emf; bei Exposition häufiger Kopfschmerzen als bei Scheinexposition
Koivisto et al. (2001)	Laborstudie, einfach-blind	48 nicht-EHS	Mobiltelefon GSM 900, Scheinexposition	Mittlere Leistung 0,25 W	30 Minuten, 60 Minuten	kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Kwon et al. (2008)	Laborstudie, doppelblind	6 EHS, 78 nicht-EHS	Mobiltelefon GSM 900, Scheinexposition	SAR ₁₀ = 0,86 W/kg	5 s an oder aus und eine Pause für die Reaktion plus 1 s, 100 mal wiederholt für jede Versuchsbedingung	keine Wahrnehmung von emf
Leitgeb et al. (2007)	Feldstudie, doppelblind	44 EHS 115 nicht-EHS	Abschirmung vor Ort statt zusätzlicher	80 MHz - 2,5 GHz	jeweils 3 Nächte	kein Zusammenhang zwischen emf und Schlaf

Literatur	Design	Probanden	Exposition	Intensität	Dauer	Ergebnis
			Exposition bzw. Scheinabschirmung			
Oftedal et al. (2007)	Laborstudie, doppelblind	17 EHS	Mobiltelefon GSM 900, Scheinexposition	SAR10(max) = 0,8 W/kg	jeweils 30 Minuten	kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Radon und Maschke (1998)	Laborstudie, doppelblind	11 EHS	GSM 900 Basisstation, Scheinexposition	0,24 W/m ²	12 Durchgänge a 3x 2 Minuten an/10 Sekunden aus	keine Wahrnehmung von emf
Regel et al. (2006)	Laborstudie, doppelblind	33 EHS 84 nicht-EHS	Basisstation UMTS, Scheinexposition	SAR10(max) = 0,15mW/kg und SAR10(max) = 15 mW/kg	3x 45 Minuten (Scheinexposition, 1 V/m, 10 V/m)	kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Rubin et al. (2006)	Laborstudie, doppelblind	60 EHS 60 nicht-EHS	Mobiltelefon GSM 900, Scheinexposition	SAR = 1,4 W/kg	3x 50 Minuten (Scheinexposition, GSM 900 pulsiert und nicht-pulsiert)	keine Wahrnehmung von emf, kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Wilen et al. (2006)	Laborstudie, k.A. ob doppel- oder einfachblind	20 EHS, 20 nicht-EHS	Mobiltelefon GSM 900, Scheinexposition	SAR10(max) = 0,8 W/kg	2x 30 Minuten	kein Zusammenhang zwischen emf und Symptomen
Zwamborn et al. (2003)	Laborstudie, doppelblind	36 EHS, 38 nicht-EHS	Basisstationsignale: GSM 900, GSM 1800, UMTS, Scheinexposition	1 V/m	jeweils 45 Minuten	schlechteres Befinden bei UMTS-Exposition

EHS = sich selbst als elektrosensibel bzw. elektrosensitiv bezeichnende Personen

emf = elektromagnetische Felder des Mobilfunks

SAR = spezifische Absorptionsrate

GSM = Global System for Mobile Communications

UMTS = Universal Mobile Telecommunication System

4. Vulnerabilität von Kindern und Jugendlichen

Neben dem weltweiten Anstieg der Mobiltelefonnutzung machen sich gleichzeitig immer mehr Menschen Sorgen hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Effekte des Mobilfunks. Einen wichtigen Stellenwert nimmt in der Diskussion die möglicherweise besondere Vulnerabilität von Kindern und Jugendliche ein. Die Wissenschaftler sind sich allerdings uneins, ob Kinder und Jugendliche bezüglich elektromagnetischer Felder besonders sensibel und somit gefährdeter sind als andere Gruppen.

Eine erhöhte Vulnerabilität wird auf Grund folgender Aspekte diskutiert (u.a. (Haarala, Bergman et al. 2005; Kheifets, Repacholi et al. 2005; Otto und von Mühlendahl 2007; Söderqvist und Hardell 2007):

- Kinder und Jugendliche haben über ihre Lebenszeit hinweg eine längere Expositionsdauer als Erwachsene, da sie der Exposition bereits zu einem früheren Lebensalter ausgesetzt werden als die heutigen Erwachsenen.
- Die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks haben bei Kindern möglicherweise einen größeren Einfluss, da sich das Immun- und Nervensystem noch in der Entwicklung befinden.
- Die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks dringen möglicherweise tiefer in die Kopfreionen ein als bei Erwachsenen.
- Die Absorptionsrate ist auf Grund der kindlichen Gewebeeigenschaften des Gehirns möglicherweise höher.

Während die Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) im sogenannten Stewart Report aus dem Jahr 2000 die Empfehlung herausgab, dass Kinder das Benutzen von Mobiltelefonen möglichst unterlassen sollten, teilt u. a. das Electromagnetic Fields Committee, Health Council of the Netherlands, diese Auffassung nicht. Auch die Stellungnahme der Strahlenschutzkommission kommt zu dem Schluss, dass nach eingehender Prüfung aller wissenschaftlichen Voraussetzungen gefolgert werden muss, dass besondere Schutzbestimmungen in Bezug auf Mobilfunkwirkungen bei Kindern nicht begründet sind (Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) 2000; van Rongen, Roubos et al. 2004; Strahlenschutzkommission (SSK) 2006).

Trotz einer eventuell erhöhten Vulnerabilität von Kindern und Jugendlichen gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks, wurden fast alle der bisherigen Studien zu potentiellen gesundheitlichen Effekten elektromagnetischer

Felder des Mobilfunks an erwachsenen Probanden durchgeführt. Lediglich aus dem Bereich der potentiellen kognitiven Funktionsstörungen gibt es zwei Studien, in denen überprüft wurde, ob die Mobilfunkexposition durch ein 902 MHz GSM-Mobiltelefon einen signifikanten Effekt auf die kognitive Funktion von Kindern und Jugendlichen hat. Bei **Preece et al.** (2005) erwies sich die Reaktionszeit unter der Expositionsbedingung zwar als tendenziell kürzer, dieser Effekt erreichte aber keine statistische Signifikanz (Preece, Goodfellow et al. 2005). In einer weiteren Studie an 10-14 Jährigen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich Reaktionszeit und Bearbeitungsgenauigkeit zwischen Experimental- und Kontrollbedingung (Haarala, Bergman et al. 2005).

Derzeit läuft die Datenerhebung der „CEFALO“- Studie. Ziel dieser internationalen Fall-Kontroll-Studie ist die Klärung der Frage, ob die Nutzung von Mobiltelefonen das Hirntumorrisiko in der Altersgruppe der 7-19 Jährigen erhöht (http://www.research.unibe.ch/abstracts/A_65962086.html). Bezüglich des Themenbereichs der möglichen akuten Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunkexposition liegen derzeit noch keine Studien an Kindern und Jugendlichen vor.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie von **Divan et al.** (2008) untersuchte einen möglichen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefon-Nutzung während der Schwangerschaft sowie in der frühen Kindheit und u. a. Hyperaktivität bei Kindern in einer Kohortenstudie in Dänemark. Dabei konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der Mobilfunk-Nutzung und Verhaltensauffälligkeiten (u. a. Hyperaktivität) bei Kindern gezeigt werden. Allerdings führen die Autoren auf, dass dieser Zusammenhang nicht notwendigerweise kausal sei, da es keine Kenntnisse über einen Wirk-Mechanismus gebe und der Zusammenhang möglicherweise auf in der Studie nicht berücksichtigten Faktoren beruhe (Divan, Kheifets et al. 2008). Weitere Studien, die diesen Zusammenhang bestätigen könnten, fehlen bisher.

5. Angewandte Methoden⁵

5.1. Planung und Ablauf der Studie

Ziel der in vier verschiedenen Städten Bayerns durchgeführten bevölkerungsrepräsentativen Querschnittsstudie war die Beschreibung der Gesamtmobilfunkexposition bayerischer Kinder und Jugendlicher und die Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der objektiven Exposition gegenüber Mobilfunk und dem subjektiven Befinden der Teilnehmer unter Berücksichtigung potentieller Störgrößen (so genannte Confounder).

Die Studie wurde von der Arbeitsgruppe Arbeits- und Umweltepidemiologie & NetTeaching des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der LMU im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) von 2006 bis 2008 durchgeführt. Von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der LMU München wurde der Studie die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkannt. Es nahmen insgesamt 1.498 Kinder (8-12 Jahre) und 1524 Jugendliche (13-17 Jahre) an der Studie teil.

Für die Studie wurden unterschiedliche Erhebungsinstrumente aus validierten Fragebögen entwickelt. Diese deckten die Bereiche Soziodemographie, allgemeine Befindlichkeit über einen Zeitraum von sechs Monaten vor der Erhebung, Schlaf, psychische Gesundheit, Medienkonsum, aktuelle Befindlichkeit, Lebensqualität, Einstellung zu Mobilfunk, Umweltbesorgnis sowie soziale Unterstützung ab. Die objektive Mobilfunkexposition wurde mittels Personendosimetrie über 24 Stunden gemessen. Darüber hinaus wurden die Teilnehmer zu der subjektiv empfundenen Mobilfunkexposition in ihrem Wohnumfeld befragt.

5.2 Durchführung der Befragung

Um eine möglichst breite Variation der Mobilfunkexposition zu erfassen, wurden vier verschiedene Studienorte ausgewählt. Zur Repräsentation der Mobilfunkbelastung in einer Millionenstadt wurde München ausgewählt, Augsburg als Großstadt, die Kreisstadt Rosenheim sowie die Kleinstadt Landsberg mit vermuteter geringerer

⁵ In Anlehnung an die Dissertationen von Dipl.-Psych. Sabine Heinrich, Dipl.-Statistikerin Anja Kühnlein, Dipl.-Päd. Silke Thomas, MPH (in Vorbereitung)

Mobilfunkbelastung. Eine graphische Darstellung der Feldphase findet sich in Abbildung 7.

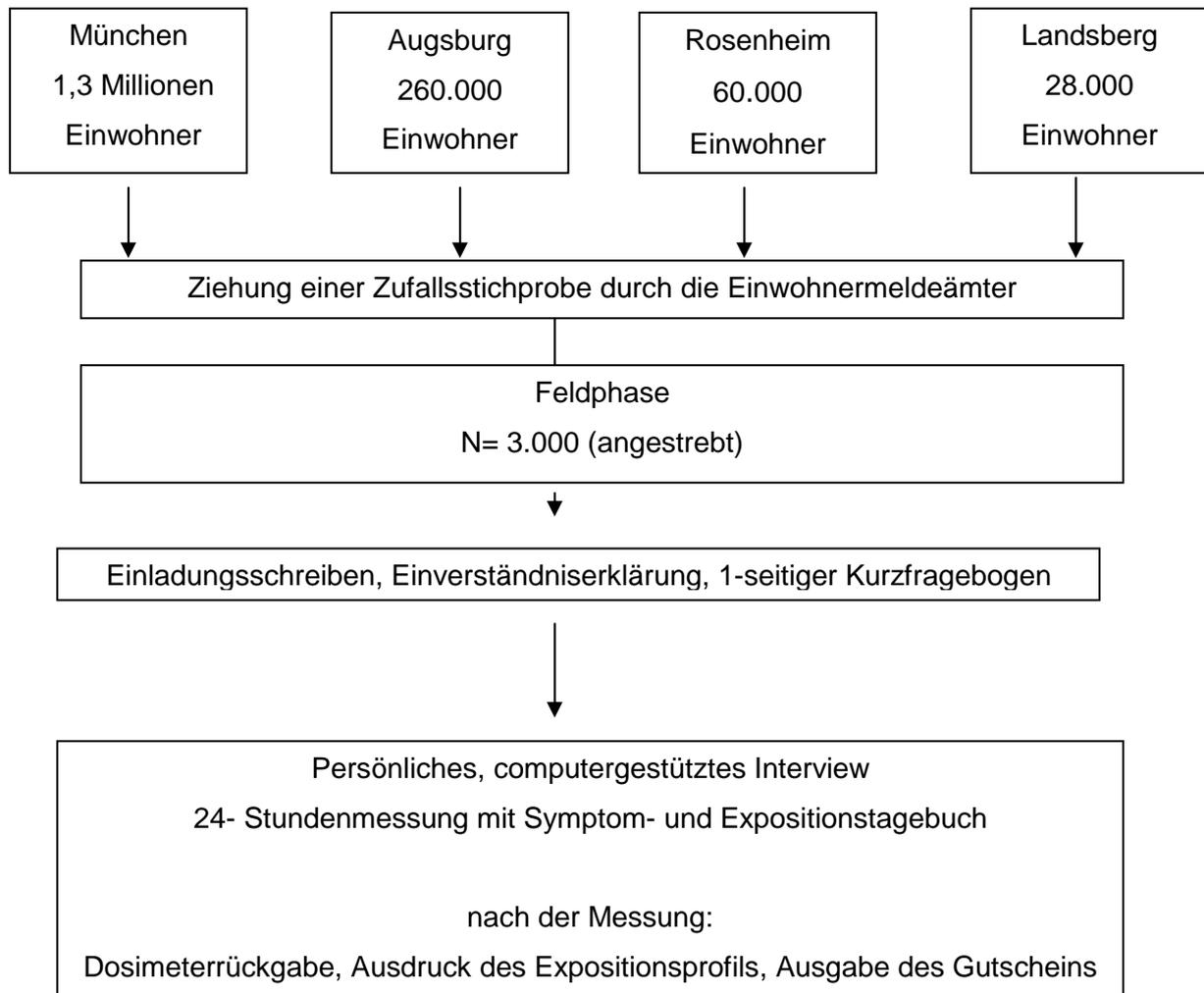


Abbildung 7: Darstellung der Studienorte und der Feldphase

5.2.1. Stichprobenrekrutierung

Insgesamt sollten in München 1.200 Kinder und Jugendliche sowie jeweils 600 Kinder und Jugendliche in den drei anderen Studienorten untersucht werden. Die potentiellen Studienteilnehmer wurden durch eine Zufallsstichprobe der jeweiligen Einwohnermeldeämter ausgewählt. Zur Vermeidung eines Clustereffekts wurden Geschwister ausgeschlossen.

Die Stichprobenziehung erfolgte für die verschiedenen Regionen gesondert. Die erste Ziehung wurde für die Stadtteile Altstadt/Lehel, Sendling/Westpark sowie Haderm der Stadt München durch das Einwohnermeldeamt München im Dezember

2005 durchgeführt. Die Auswahl der Stadtteile in München erfolgte anhand der Daten des Statistischen Amtes München (Quelle: www.muenchen.info/sta/m-stat/). Hierbei wurden die Stadtteile repräsentativ in Bezug auf den Anteil von Migranten und Erwerbslosen ausgewählt. Zudem wurde eine gute Erreichbarkeit des Untersuchungszentrums per U-Bahn berücksichtigt. Noch während der Datenerhebung in München erfolgte im August 2006 eine Stichprobenziehung für die Stadt Augsburg durch das dortige Einwohnermeldeamt. Die Datenerhebung in Augsburg startete im September 2006. In Rosenheim fand die Datenerhebung zwischen Februar und September 2007 statt (Stichprobenziehung Januar 2007), in Landsberg zwischen Juni und Dezember 2007 (Stichprobenziehung April 2007).

5.2.2. Kontaktierung der Probanden

Die ausgewählten Kinder und Jugendlichen wurden ab Februar 2006 schriftlich-postalisch zur Teilnahme an dieser Untersuchung eingeladen. Hierzu wurde ein Einladungsschreiben an die Eltern versandt. Das Schreiben enthielt Informationen über den Zweck und Inhalt der Studie mit der Bitte um Teilnahme sowie der Versicherung, dass die Daten pseudo-anonymisiert und ausschließlich zu Forschungszwecken ausgewertet werden. Darüber hinaus wurden sie auf die Freiwilligkeit der Teilnahme hingewiesen. Ebenso erhielten die angeschriebenen Personen eine Einverständniserklärung, in der sie ihre Teilnahmebereitschaft bekunden konnten, sowie einen Kurzfragebogen mit frankiertem Rückumschlag, der auch bei Nichtteilnahme ausgefüllt zurückgeschickt werden sollte, um später auch die Möglichkeit zu haben, in einer Nichtteilnehmeranalyse eine mögliche Stichprobenverzerrung abzuschätzen. Sobald dem Studienteam die Einverständniserklärung vorlag, wurden die Teilnehmer telefonisch kontaktiert, um einen individuellen Interviewtermin zu vereinbaren.

Die Anschreiben erfolgten in mehreren Wellen von jeweils 30 bzw. 45 Adressen, damit ein erster Kontaktversuch zur Vereinbarung eines Interviewtermins innerhalb von spätestens zwei Wochen nach Erhalt der Rückantwort erfolgen konnte. Um die Teilnahmebereitschaft zu erhöhen, erhielten Personen, die nach acht bis 14 Tagen noch nicht auf das Anschreiben geantwortet hatten, ein Erinnerungsschreiben (Abbildung 8). Ein zweites Erinnerungsschreiben wurde nach ca. drei Wochen

verschickt. Dieses enthielt neben der Einverständniserklärung nochmals einen Kurzfragebogen sowie einen frankierten Rückumschlag.

In einem weiteren Schritt erfolgte bei den Personen, die auch auf das zweite Motivationsschreiben nicht reagiert hatten und deren Telefonnummer ermittelt werden konnte, nach sechs bis sieben Wochen eine telefonische Kontaktaufnahme. Insgesamt wurden maximal fünf telefonische Kontaktversuche unternommen.

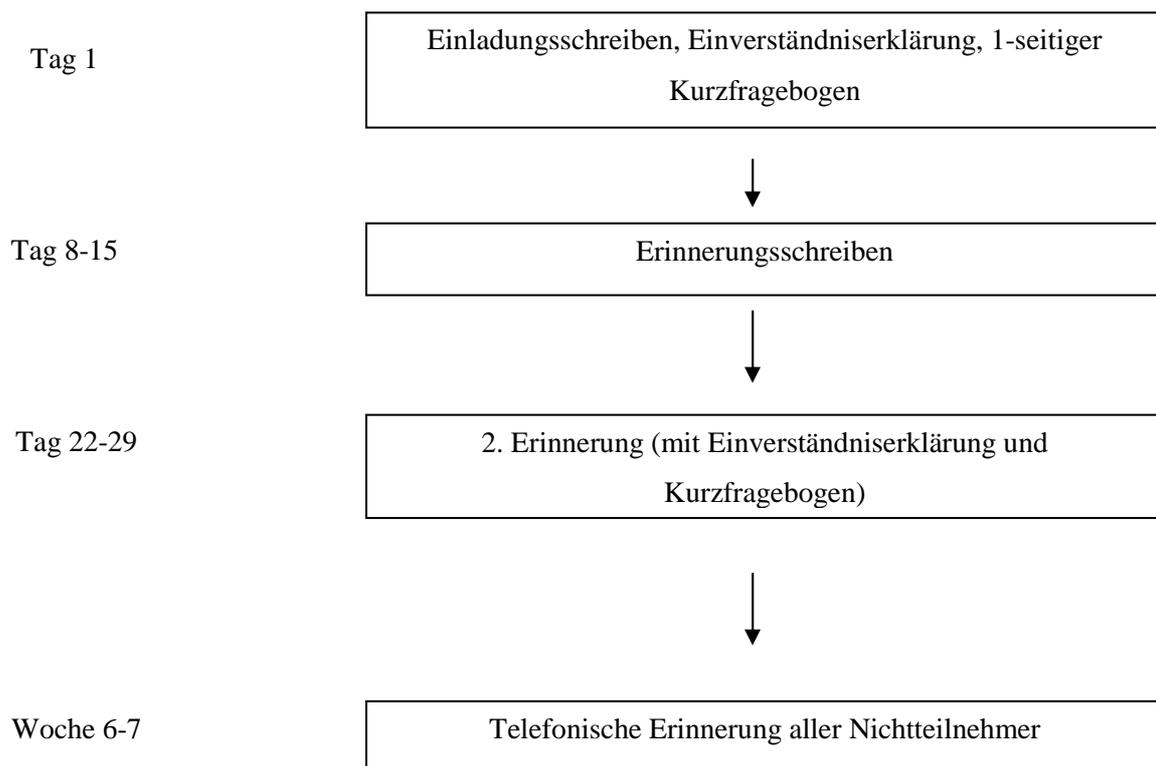


Abbildung 8: Zeitlicher Ablauf der Kontaktaufnahme

5.3 Ablauf der Feldphase

Die Probanden in München wurden gebeten, zur Feldphase in das Dr. von Haunersche Kinderspital zu kommen, in dem uns zwei Interviewräume zur Verfügung standen. In Augsburg, Rosenheim und Landsberg wurde aus logistischen Gründen zur Durchführung der Interviews von den Gemeinden Räume in öffentlichen Gebäuden wie dem Rathaus, Gesundheitsamt oder Schulen angemietet bzw. (wie in Augsburg) kostenlos zur Verfügung gestellt. Falls die Probanden zum Beispiel aus zeitlichen Gründen nicht ins lokale Untersuchungszentrum kommen konnten, wurden

auch Interviews bei den Probanden zuhause durchgeführt. Dieses Angebot wurde allerdings nur in München und Augsburg von den Probanden genutzt. Dies lag an dem teilweise höheren zeitlichen Aufwand durch die weitere Anfahrt in München und Augsburg als in den kleineren Städten Rosenheim und Landsberg.

Zu Beginn des Untersuchungstermins wurde den Probanden der Zweck der Studie noch einmal erklärt. Im Anschluss folgten die computer-assistierte persönliche Interviews (CAPI), sie dauerten durchschnittlich zwischen 15 (Kinder) und 25 (Eltern und Jugendliche) Minuten und wurden von zuvor intensiv geschulten und regelmäßig nachgeschulten Interviewern durchgeführt.

Nach Ende des Interviews legte der Interviewer dem Probanden das Mobilfunkdosimeter an und erklärte ihm den Umgang mit dem Gerät.

Parallel zur 24-Stunden-Messung füllte der Teilnehmer dreimal (morgens, mittags, abends) ein Beschwerdentagebuch aus. Je nach Vereinbarung holte der Interviewer am nächsten Tag (mindestens 24 Stunden später) das Dosimeter beim Probanden zu Hause ab oder nahm es (in den meisten Fällen) im Untersuchungszentrum in Empfang.

Abschließend wurde der Proband noch gefragt, ob und inwiefern er sich durch das Dosimeter eingeschränkt gefühlt hatte und ob er in den letzten 24 Stunden seinen üblichen Aktivitäten nachgegangen war. Mit diesen Fragen sollte die Geräteakzeptanz und Repräsentativität der Messungen beurteilt werden.

Als Aufwandsentschädigung für die Teilnahme erhielten die Probanden einen Einkaufsgutschein in Höhe von 20,- Euro (

Abbildung 9). Außerdem wurde allen Teilnehmern eine Grafik ihrer individuellen Expositionsmessung über den Untersuchungstag zugesandt.

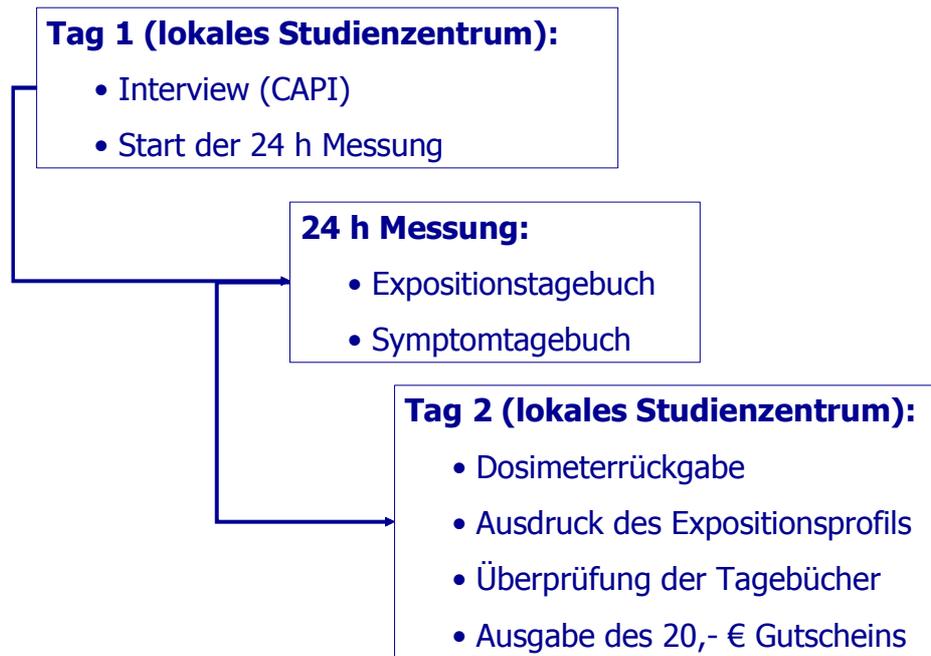


Abbildung 9: Ablauf der Untersuchung

Zur Erhöhung der Teilnahmebereitschaft wurde in allen vier Studienorten bereits im Vorfeld der Feldphase eine Pressemitteilung über Hintergründe und Ablauf der Studie veröffentlicht und in der örtlichen Tagespresse publiziert. Parallel zur Presse wurde die Studie in verschiedenen Radio- und Fernsehsendungen vorgestellt. Den Einfluss der Nachfassmaßnahmen sowie der Publikation in der Tagespresse auf die ersten drei Anschreibewellen in München zeigt Abbildung 10.

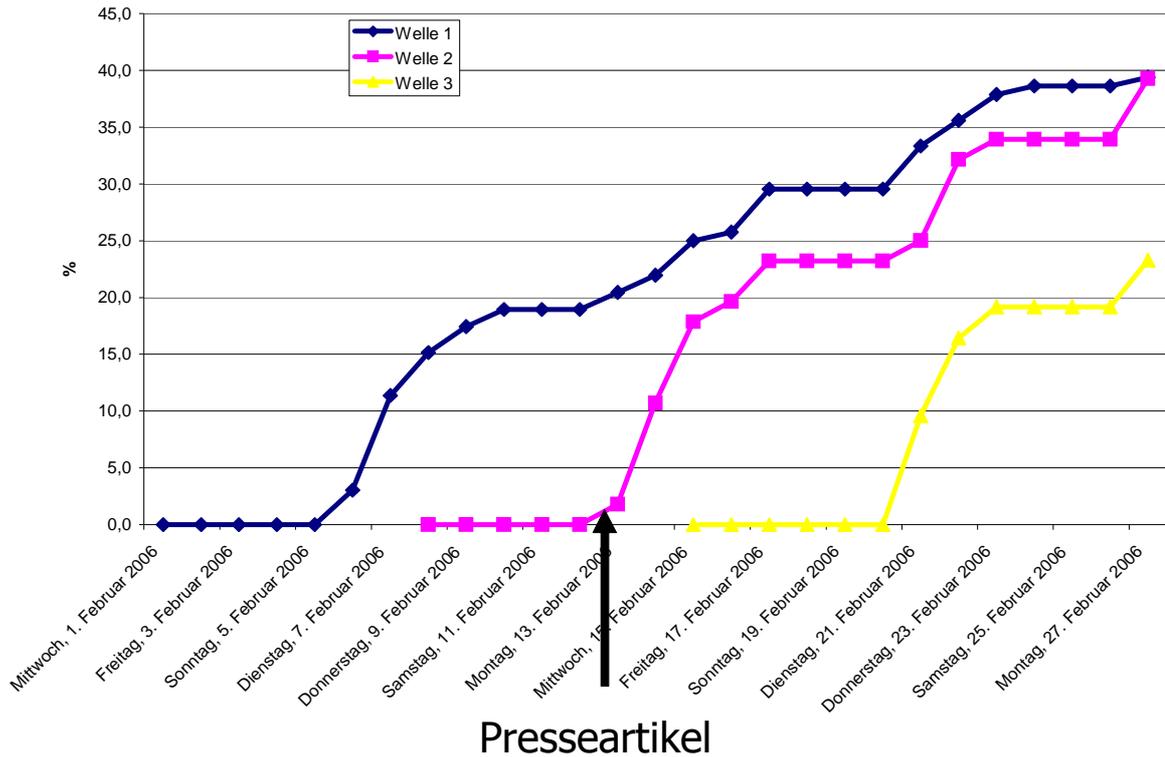


Abbildung 10: Teilnahmeverlauf während der ersten 3 Anschreibewellen in München

5.3.1. Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Zur Qualitätssicherung wurden bei der Datenerhebung folgende Maßnahmen angewendet:

- Intensive Interviewerschulung mit praktischem Übungsteil
- Regelmäßige Nachschulungen der Interviewer
- Stichprobenhafte Anrufe bei bereits interviewten Teilnehmern
- Regelmäßige Überprüfung eingehender Daten

Versehentliche Falscheingaben wurden während des Interviews durch entsprechend programmierte Plausibilitätschecks (zum Beispiel Werte außerhalb des definierten Gültigkeitsbereichs) minimiert.

5.4 Expositionserfassung

5.4.1. Personenbezogene Expositionserfassung

Kernstück dieser Untersuchung war die individuelle, personenbezogene Expositionserfassung mittels Personendosimetrie. Die Erfassung der Exposition erfolgte bei jedem Probanden über einen Zeitraum von 24 Stunden. Hierdurch war erstmals eine personenbezogene Abschätzung der Expositionsbelastung im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks im Tagesprofil möglich. Die Messung erfolgte über ein am Oberarm fixiertes Messgerät. Vor Beginn der Messung wurde die Händigkeit des Probanden abgefragt und das Dosimeter am jeweils gegenüberliegenden Arm befestigt.

Die technischen Daten des verwendeten Personendosimeters ESM-140 (Abbildung 11) der Firma Maschek⁶ (www.maschek.de) sind in Tabelle 8 angegeben.

Tabelle 8: Technische Daten des Maschek Dosimeters

Maschek Dosimeter ESM 140	
<i>Frequenzbänder</i>	
GSM 900 Uplink	890 – 915 MHz
GSM 900 Downlink	935 – 960 MHz
GSM 1800 Uplink	1725 – 1780 MHz
GSM 1800 Downlink	1820 – 1875 MHz
DECT	1880 – 1900 MHz
UMTS Uplink	1920 – 1980 MHz
UMTS Downlink	2110 – 2170 MHz
WLAN	2400 – 2485 MHz
Messbereich	0.01 V/m – 5 V/m
Aufzeichnungsrate	0.5 s – 10 s
Speicher	130.000 Datensätze (pro Kanal)
Größe (L x W x H)	106 x 47 x 28 mm
Gewicht	76 g

⁶ Auf Grund der höheren Akzeptanz der Dosimeter der Firma Maschek durch die Probanden der Pilotstudie sowie der leichteren Bedienbarkeit der Geräte im Gegensatz zu den Dosimetern der Firma Antenessa, wurden die Maschek-Dosimeter in der Hauptstudie verwendet.



Abbildung 11: Das Personendosimeter ESM-140

Um die Beeinträchtigung des Teilnehmers durch das Messgerät am Messtag so gering wie möglich zu halten, wurde besonderer Wert auf eine Minimierung der Größe des Geräts ohne entscheidenden Verlust der Güte der Expositionsabschätzung gelegt. Die Akzeptanz der Dosimeter konnte in unserer Pilotstudie gezeigt werden (Radon, Spiegel et al. 2004).

Beschrieben werden sollte die Exposition, der jeder mehr oder weniger unwillkürlich ausgesetzt ist. Gemessen wurden die Frequenzen der Mobilfunk- und DECT-Telefone sowie deren Basisstationen und die WLAN-Frequenz. Die einzelnen Mobilfunkbereiche wurden getrennt erfasst durch Bandpässe im D/E/UMTS-Band. Die Exposition durch Fernsehsender, Tetra- und Bündelfunk wurde nicht miterfasst. Es wurde nicht davon ausgegangen, dass diese Expositionen als Störfaktoren (Confounder) in der möglichen Beziehung zwischen Exposition und Beschwerden wirken, da nicht zu erwarten ist, dass sie mit der Mobilfunkexposition in Zusammenhang stehen. Darüber hinaus wurden die Studienorte so ausgewählt, dass sich keine starken Radio- und Fernsehsender in unmittelbarer Umgebung befanden.

Die Exposition wurde über den Messzeitraum von 24 Stunden einmal pro Sekunde erfasst (86400 Einzelmesswerte pro Tag). Die Verteilung der Exposition wurde in

Form eines Tagesprofils ermittelt. Spitzen der Exposition gegenüber Mobilfunk entstehen z.B. kurzfristig durch Mobiltelefonnutzung. Wie unsere Pilotstudie zeigte, gehen diese in die kumulative Gesamtexposition kaum ein, da die wenigsten Menschen über längere Zeiträume mit dem Mobiltelefon telefonieren (Radon, Spiegel et al. 2004). Ein typisches Expositionsprofil über 24 Stunden ist in Abbildung 12 dargestellt. Hierbei zeigt sich zum einen die Dominanz von Feldern aus dem D-Netz Bereich. Die maximale Exposition dieses Probanden lag bei 1,4 V/m. Nahezu alle nächtlichen Werte lagen in diesem Beispiel für alle Frequenzen unter 0,05 V/m und damit unter der Bestimmungsgrenze des Dosimeters.

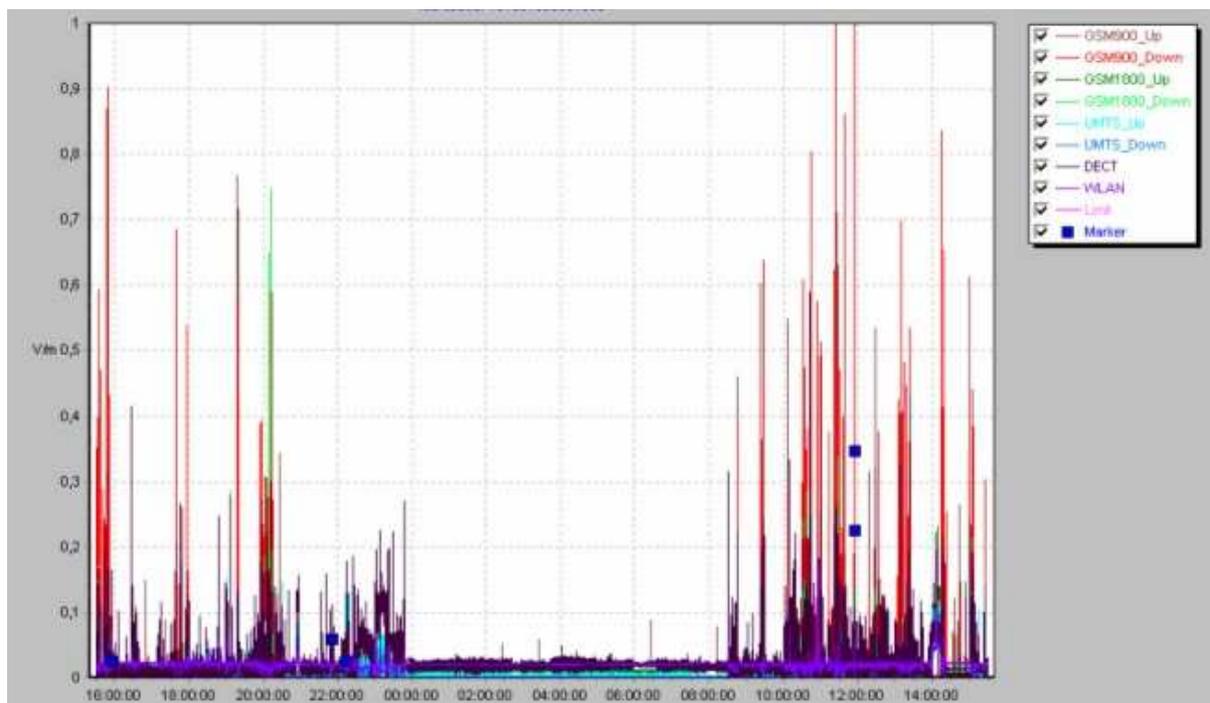


Abbildung 12: Typisches Messprofil über 24 h

Die Teilnehmer hatten zudem die Möglichkeit, Ereignisse, wie z.B. den Zeitpunkt von Eigentelefonaten oder das Verweilen an einem bestimmten Ort, mittels Drückens eines am Dosimeter angebrachten Ereignisknopfes zu markieren (in der Grafik als „Marker“ erläutert).

5.4.2. Überprüfung der nächtlichen Messwerte

Die Teilnehmer wurden gebeten, das Dosimeter während des Schlafens an einer Plastikwasserflasche zu befestigen und möglichst bettnah aufzustellen. Hierbei stellt sich die Frage, ob die nächtlichen Messwerte am abgelegten Gerät die tatsächliche

Exposition liefern. Um dies zu überprüfen, wurden die Probanden zusätzlich gebeten, abends vor Ablage des Geräts sowie morgens nach Anlegen des Dosimeters einen zweiminütigen Rundgang durch ihr Schlafzimmer zu absolvieren. Anfang und Ende des Rundgangs wurden dabei durch den Ereignisknopfes kenntlich gemacht. Dies ermöglichte es, zu überprüfen, inwieweit die nächtlichen ortsfesten Werte mit den „Bewegungswerten“ übereinstimmen.

Ein Streudiagramm zur Überprüfung der Übereinstimmung der Messwerte aus den Rundgängen mit den nächtlichen ortsfesten Messwerten liegt getrennt für Kinder und Jugendliche vor. Hierbei zeigte sich die in den Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellte Korrelation. Bei niedrigen Werten im Bereich der Bestimmungsgrenze der Dosimeter stimmen die Mittelwerte aus nächtlicher Messung bei abgelegtem Dosimeter und aus dem Rundgang relativ gut überein. Bei höheren Messwerten zeigt sich hingegen eine nicht ausreichende Übereinstimmung. Aufgrund der Vielzahl der Messwerte im Bereich der Bestimmungsgrenze beträgt der Korrelationskoeffizient für die Kinder nach Spearman insgesamt 0,53 ($p < 0,0001$). Bei den jugendlichen Teilnehmern liegt der Korrelationskoeffizient etwas niedriger als bei den Kindern bei 0,49 ($p < 0,0001$).

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die nächtlichen, bei abgelegtem Dosimeter gemessenen Expositionswerte, in der Auswertung nicht verwendet. Daher konnte in der weiteren Auswertung die Assoziation zwischen der nächtlichen Exposition und den im Beschwerdetagebuch angegebenen akuten morgendlichen Beschwerden nicht untersucht werden.

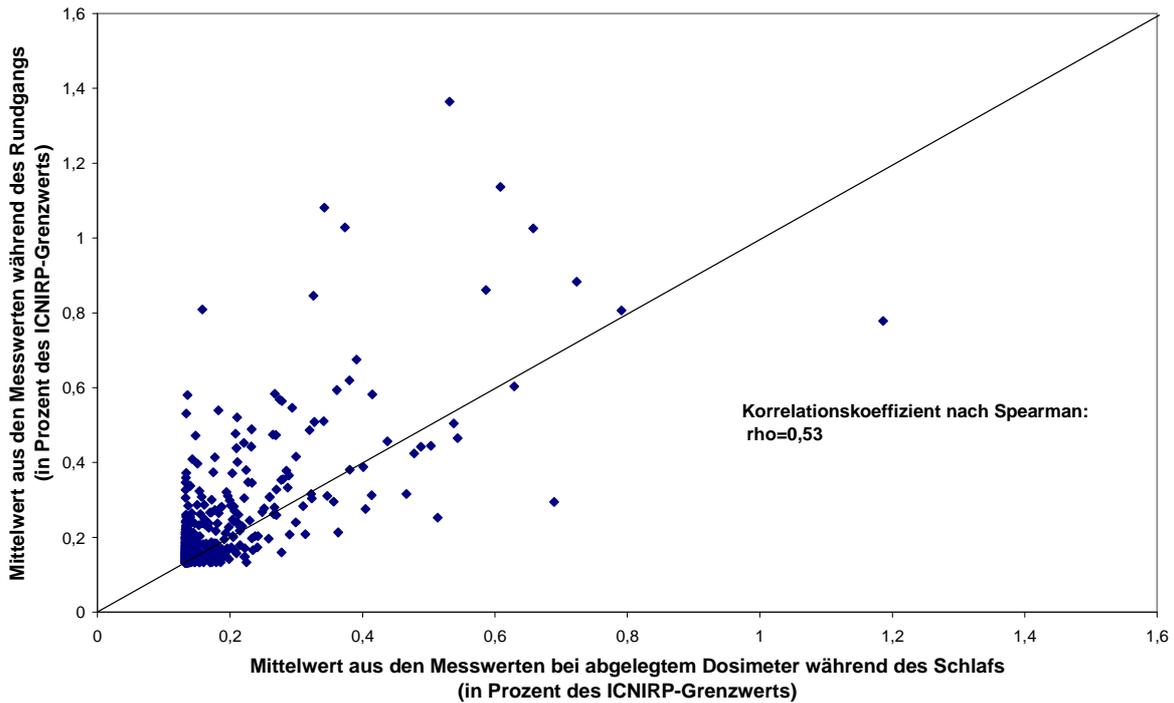


Abbildung 13: Korrelation zwischen den nächtlichen ortsfesten Messwerten und den Messwerten während des Schlafzimmerrundgangs für die Kinder (Mittelwerte aus den Gesamtexpositionswerten pro Sekunde während des Schlafes bzw. während des Rundgangs)

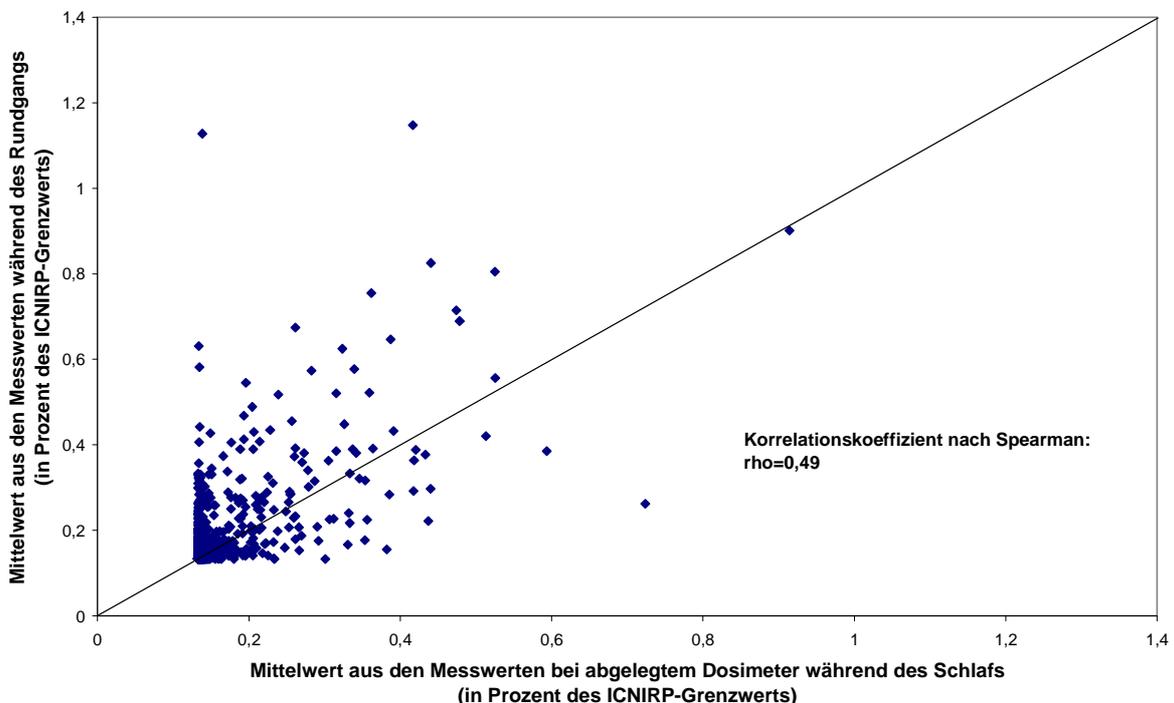


Abbildung 14: Korrelation zwischen den nächtlichen ortsfesten Messwerten und den Messwerten während des Schlafzimmerrundgangs für die Jugendlichen (Mittelwerte aus den Gesamtexpositionswerten pro Sekunde während des Schlafes bzw. während des Rundgangs)

5.4.3. Durchführung von 5-Tages-Messungen zur Überprüfung der Repräsentativität der bei der 24h-Messung erhobenen Exposition

Um die Repräsentativität der einmaligen, 24-stündigen Messungen der Exposition der Teilnehmer gegenüber Feldern des Mobilfunks zu überprüfen, wurden einige der Kinder und Jugendlichen gebeten, an einer von Montag Nachmittag bis Samstag Nachmittag laufenden, fünftägigen Messung teilzunehmen. So sollte untersucht werden, ob die Exposition der einzelnen Probanden in Abhängigkeit vom Wochentag variiert.

Zu diesem Zweck wurden die Gesamtexpositionen dieser fünf Tage jeweils in Quartile eingeteilt. Anschließend wurde mit Hilfe von Kreuztabellen paarweise für jeweils zwei Wochentage berechnet, wie häufig die Exposition der Probanden an diesen zwei Tagen im selben Quartil liegt, d.h. wie gut die Übereinstimmung der Exposition an diesen Tagen ist.

Die Definition der Variable Wochentag wurde so vorgenommen, dass der Zeitraum eines Wochentags möglichst gut vergleichbar mit dem Zeitraum einer am entsprechenden Tag durchgeführten 24h-Messung war.

Da die 24h-Messungen stets am Nachmittag starteten und bis zum Nachmittag des Folgetages liefen, wurde die für die Varianzanalyse benötigte Variable Wochentag vergleichbar dazu definiert. So wurde der erste Wochentag als die Zeitspanne zwischen Montag 16:00 Uhr und Dienstag 16:00 Uhr festgelegt. Die Wochentage zwei bis fünf wurden analog definiert; somit wurde beispielsweise Wochentag fünf von Freitag 16:00 Uhr bis Samstag 16:00 Uhr festgelegt. Die Uhrzeit 16:00 Uhr wurde dabei als Wochentagsgrenze gewählt, da die 5-Tages-Messungen im Mittel um 16:00 Uhr begannen.

Als Exposition eines Wochentags wurde analog zur Auswertung der 24h-Messungen nur die Exposition während der Wachphase der Probanden betrachtet.

Die 5-Tages-Messungen wurden parallel zur regulären Feldphase in allen vier Studienorten durchgeführt. Die Teilnehmer an der 5-Tages-Messung erhielten eine Aufwandsentschädigung von 50 Euro. Die Durchführung der 5-Tagesmessungen war daher sehr kostenintensiv und auch zeitintensiv, da die verwendeten Personendosimeter eine Woche lang nicht für 24h-Messungen verfügbar waren.

5.4.4. Ermittlung der Bestimmungsgrenze der Personendosimeter

Vom 19. bis 21. April 2006 erfolgte eine Prüfung von vier Mobilfunkdosimetern durch den TÜV Süd. Die Prüfung sollte die Gerätekenndaten der Dosimeter ermitteln sowie einen Nachweis erbringen, inwieweit die Herstellerangaben richtig und verschiedene Baureihen und –typen vergleichbar sind.

Folgendes Prüfprogramm wurde durchgeführt:

1. Feststellung der Hauptpolarisationsrichtung des Dosimeters
2. Frequenzsweep von 800 MHz bis 3 GHz mit 1% Schrittweite, Verweildauer 3s je Frequenz, dann für 2s feldfrei; Modulation bis 2 GHz GMSK, ab 2 GHz QMSK (UMTS/WLAN). Feldstärken: ca. 0.5 V/m und 4 V/m
3. Überprüfung der Linearität der Geräte bei 3 Frequenzen (jeweils den Mittenfrequenzen der 3 Antennen) im Bereich von 0.1 V/m bis 10 V/m
4. Bestimmung der Nachweisgrenze der Geräte durch Registrierung des Grundrauschens in einer Schirmkabine
5. Ermittlung der Azimuth-Diagramme bei jeweils den Mittenfrequenzen der 3 Antennen bei einer Feldstärke
6. Ermittlung eines Vertikal-Diagramms bei jeweils den Mittenfrequenzen der 3 Antennen bei einer Feldstärke

Die Ergebnisse der Prüfung wurden vom TÜV in einem technischen Bericht zusammengefasst (Anhang 2). Für die Dosimeter ergaben sich eine gute Vergleichbarkeit sowie ausreichende technische Charakteristika.

Es wurde auch bestätigt, dass die nächtlichen Messungen bei abgelegtem Dosimeter nicht ausreichend valide sind, da die Messwerte von der Ausrichtung des Geräts im Schlafzimmer abhängen. Dieses Ergebnis untermauert die Entscheidung, die nächtlichen, ortsfest erhobenen Messwerte nicht bei der Auswertung zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.4.2).

Bestimmungsgrenzen der Dosimeter

Die Bestimmungsgrenzen der Dosimeter wurden gemäß der Formel

$$\text{Mittelwert(Grundrauschen)} + 9 \cdot \text{Standardabweichung(Grundrauschen)}$$

berechnet (VDI 2449 Blatt 1 1995).

Das Grundrauschen wurde mit Hilfe von Dosimeter-Messungen in einer Metalldose, die zusätzlich mit Alufolie umwickelt wurde, ermittelt. Zudem wurde das Grundrauschen von 4 Dosimetern beim TÜV in einer Schirmkabine ermittelt. Die resultierenden Bestimmungsgrenzen dieser 4 Geräte waren vergleichbar mit den von uns mittels Metalldose ermittelten Werten.

Die Bestimmungsgrenzen aller Dosimeter sind getrennt nach Frequenzband in Tabelle 9 aufgelistet. Fett unterlegte Werte stellen die Maximalwerte pro Frequenzband aller Dosimeter dar. Aufgrund der hier berechneten Werte wurde die Bestimmungsgrenze für alle Dosimeter einheitlich auf 0,05 V/m festgelegt. Damit wurde eine konservativere Bestimmungsgrenze verwendet als vom Hersteller angegeben. Eine Bestimmungsgrenze von 0 V/m für einzelne Frequenzbereiche ergab sich, wenn bei den Messungen in der Metalldose kein Grundrauschen gemessen wurde.

Tabelle 9: Bestimmungsgrenzen der Dosimeter getrennt nach Frequenzband in V/m

Dosimeter-Nr.	GSM 900 Uplink	GSM 900 Downlink	GSM 1800 Uplink	GSM 1800 Downlink	UMTS Uplink	UMTS Downlink	DECT	WLAN
01	0	0	0.03745	0.00110	0.02094	0.00086	0.05434	0.02279
02	0	0	0	0.03115	0.02681	0.01185	0	0.02059
04	0	0	0.02999	0.00274	0.00083	0.00429	0.01395	0.02679
05	0	0	0	0.02494	0.01722	0.00084	0.00450	0.02411
05 (TÜV)	0	0	0	0.02490	0.01644	0	0.00630	0.02206
07	0	0	0.01939	0.00966	0.00803	0.00246	0.01470	0.02410
08	0	0	0.01500	0.03061	0.00031	0.01199	0.02054	0.02223
09	0	0	0.02363	0	0.00910	0.01182	0.04923	0.02537
10	0	0	0.02925	0.00591	0.02464	0	0.01997	0.01896
11	0	0.00315	0	0.05307	0.03594	0.00839	0.00356	0.02225
11 (TÜV)	0	0	0	0.04410	0.03220	0.01032	0	0.02437
20	0.01352	0.01096	0.02658	0.03266	0.02555	0.01534	0.01610	0.00102
21	0	0	0.00441	0.00081	0.01753	0.00072	0	0.00588
22	0	0.00396	0.00514	0.03655	0.00234	0	0.00628	0.00686
23	0	0.00041	0.01115	0.04188	0.00964	0.01679	0.00431	0.01513
24	0.01945	0.02104	0.01076	0.01039	0.02547	0.00367	0.03567	0.00018
26	0.02024	0.02561	0.00050	0.00671	0.01334	0.00173	0.00783	0
27	0.02031	0.02544	0.00145	0.01703	0.01485	0.00465	0.00610	0.01619
28	0.02634	0.02886	0.00299	0.02121	0.02660	0.01489	0.00342	0.00712
29	0.01469	0.01400	0.00123	0.02048	0.00512	0.00136	0.00324	0.02044
30	0.01880	0.00741	0.00109	0.00820	0.00498	0.00041	0.02326	0.01950
31	0.02372	0.00643	0.02540	0.00681	0.02271	0.00914	0.01544	0.01533
32	0	0	0.00340	0.03626	0.02138	0.02479	0.00130	0.00037
33	0	0	0.02639	0.00396	0.00384	0.01734	0.00102	0.02746
34	0.01748	0.01541	0.00408	0.02615	0.00453	0.00918	0.02904	0.01675
34 (TÜV)	0.01798	0.02092	0.00171	0.02016	0.00482	0.00945	0.03385	0.00510
35	0.02342	0.03226	0	0.03194	0.02190	0.00441	0.01270	0
36	0.01759	0.03154	0	0.00063	0.01222	0.01185	0.00659	0
38	0.02117	0.02515	0.00643	0.03978	0.00862	0.00963	0.04752	0
38 (TÜV)	0.01286	0.03112	0.00030	0.01163	0.00126	0.00213	0.02080	0.00033
42	0.01584	0.01756	0	0.02532	0.00490	0.01951	0	0.00311
43	0.00176	0.02700	0.03070	0.00351	0.04040	0.01309	0.00018	0
47	0.02414	0.03623	0.01210	0.00688	0.00243	0.00849	0.04155	0.00096

Dosimeternummer = Herstellernummer des Dosimeters;

GSM 900 Uplink = D-Netz Mobiltelefon GSM 900 Downlink = D-Netz Basisstation

GSM 1800 Uplink = E-Netz Mobiltelefon GSM 1800 Downlink = E-Netz Basisstation

UMTS Uplink = UMTS Mobiltelefon UMTS Downlink = UMTS Basisstation

DECT = schnurloses Telefon (Endgerät und Basisstation) WLAN = WLAN

5.4.5. Festlegung des Expositionsmaßes

Zur Auswertung der Dosimeterdaten sind verschiedene Ansätze möglich. Zum einen hat sich in unserer Pilotphase die Auswertung der Expositionsdauer über einer Schwelle bewährt, zum anderen besteht die Möglichkeit, die kumulierte Gesamtexposition zu verwenden. Die erste Vorgehensweise wurde von uns gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Bestimmungsgrenze der Dosimeter noch nicht feststand. Ungünstig an dieser Vorgehensweise ist allerdings die schwierige Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Für die Daten der Pilotstudie haben wir die Ergebnisse (kumulierte Gesamtexposition vs. % über 0,1 V/m) verglichen und einen Spearman Korrelationskoeffizient von 0,97 erhalten, so dass gefolgert werden konnte, dass die Ergebnisse sich kaum unterscheiden (Radon, Spegel et al. 2004).

Aufgrund der besseren Interpretierbarkeit wurde im Rahmen der Hauptanalysen die Gesamtexposition als mittlerer prozentualer Anteil am Grenzwert während der Wachphase für jeden Teilnehmer ermittelt und als Hauptmaß für die Exposition verwendet.

Bei der Einteilung der Exposition wurden die Messwerte, die unterhalb der Bestimmungsgrenze der Dosimeter (0,05 V/m) lagen, durch die Hälfte der Bestimmungsgrenze (0,025 V/m) ersetzt. Diese Methode erscheint sinnvoll, da alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze zwischen 0 und der Bestimmungsgrenze liegen müssen. Sie wird daher häufig angewendet (vgl. Hornung und Reed 1990)).

Für die Auswertung wurde die kumulierte Gesamtexposition der Probanden über alle Frequenzen als mittlerer prozentualer Anteil am Grenzwert verwendet. Diese wurde wie folgt berechnet.

Der D-Netzbereich besteht aus den Messwerten des Uplinks (Mobiltelefonat) und Downlinks (Mobilfunkbasisstation). Dabei errechnet sich die quadrierte mittlere Feldstärke für diesen Bereich nach der Formel:

$$\bar{E}^2_{D\text{-Netz}} = \sum_t D\text{-Netz}^2_{\text{uplink}}(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}} + \sum_t D\text{-Netz}^2_{\text{downlink}}(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}}$$

Die quadrierte mittlere Feldstärke während der Wachphase des E-Netz-Bereiches setzt sich nach folgender Formel aus den Feldern des E-Netzes (Up- und Downlink), UMTS (Up- und Downlink) sowie DECT (schnurloses Heimtelefon) zusammen:

$$\begin{aligned} \bar{E}^2_{E\text{-Netz}} = & \sum_t E\text{-Netz}^2_{\text{uplink}}(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}} + \sum_t E\text{-Netz}^2_{\text{downlink}}(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}} + \\ & + \sum_t \text{UMTS}^2_{\text{uplink}}(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}} + \sum_t \text{UMTS}^2_{\text{downlink}}(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}} + \\ & + \sum_t \text{DECT}^2(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}} \end{aligned}$$

Die quadrierte mittlere Feldstärke des WLAN-Bereichs während der Wachphase beinhaltet lediglich die Messwerte dieses Frequenzbereichs:

$$\bar{E}^2_{\text{WLAN}} = \sum_t \text{WLAN}^2(t) / \text{Dauer}_{\text{Wachphase}}$$

Es gilt nach ICNIRP (ICNIRP 1998) für den Frequenzbereich um 900 MHz (D-Netz) ein Grenzwert von 42 V/m, für den Frequenzbereich um 1800 MHz (E-Netz) ein Grenzwert von 59 V/m und für den Bereich um 2400 MHz (WLAN) von 61 V/m.

Der mittlere prozentuale Anteil der Gesamtexposition gegenüber Feldern mit unterschiedlichen Frequenzen am Grenzwert berechnet sich aus der Wurzel der mit dem Inversen der quadrierten Grenzwerte gewichteten Summe aller drei quadrierten mittleren Feldstärken.

$$\bar{G}_{\%} = \text{Wurzel}(\bar{E}^2_{D\text{-Netz}} / \text{GW}^2_{D\text{-Netz}} + \bar{E}^2_{E\text{-Netz}} / \text{GW}^2_{E\text{-Netz}} + \bar{E}^2_{\text{WLAN}} / \text{GW}^2_{\text{WLAN}}) * 100,$$

wobei GW der Grenzwert ist.

Das Ziehen der Quadratwurzel aus der entstandenen Summe ergibt die Gesamtexposition in Form einer grenzwertbezogenen Feldstärke. Dieser Beurteilungswert hat den Vorteil, dass er mit dem Anteil der Feldstärke einer einzelnen Frequenz am Grenzwert (in %) vergleichbar ist. Zudem bleibt die Grenzwertbedingung bezüglich des Ausschöpfungsgrades nach Ziehen der Quadratwurzel unverändert (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU) 2007).

Der mittlere prozentuale Anteil der Gesamtexposition am Grenzwert während der Wachphase wurde bei der Auswertung als Maß für die Exposition eines Probanden gegenüber elektromagnetischen Feldern verwendet.

5.4.6. Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Dosimetermessungen

Im Studienantrag wurde festgehalten, dass die Messgeräte nach jeweils einem halben Jahr kalibriert werden sollen. Laut der Erfahrung des Herstellers reicht es jedoch aus, die Geräte einmal jährlich zu kalibrieren. Die erste Kalibrierung erfolgte zwischen dem 18.01.2007 und dem 02.02.2007. Laut Aussage des Herstellers funktionierten alle Geräte einwandfrei.

Dank der Leihgabe des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) standen uns für die Studie insgesamt 29 Dosimeter zur Verfügung, wodurch eine Kalibrierung von 29 statt 20 Geräten notwendig war.

Um sicherzustellen, dass alle Dosimeter bis zum Ende der Studie verlässliche Messdaten liefern, entschieden wir uns, am Ende der Feldphase alle Geräte noch einmal kalibrieren zu lassen. Die zweite Kalibrierung der Messgeräte fand im Januar 2008 statt. Dabei erwies sich ein Messgerät als defekt. Nach Bekanntwerden der Fehlfunktion des Dosimeters wurden alle mit diesem Gerät erfolgten Messungen im Detail gesichtet, so dass genau festgestellt werden konnte, ab wann genau das Dosimeter defekt war. Dadurch mussten nur 21 Messungen aus den Ergebnisanalysen ausgeschlossen werden und nicht alle seit der letzten Kalibrierung mit diesem Dosimeter erfolgten Messungen.

5.5. Subjektive Expositionsabschätzung

Neben der objektiven Expositionsabschätzung durch die Personendosimetrie wurde jeder Teilnehmer um die Selbsteinschätzung der Exposition am Untersuchungstag gebeten (Mobiltelefon- und DECT-Nutzung am Untersuchungstag). Darüber hinaus wurde im ausführlichen Interview die allgemein übliche Exposition im schulischen und privaten Umfeld abgefragt. Hierbei wurde die Entfernung zu Mobilfunkbasisstationen sowie die persönliche Nutzung von Mobiltelefonen erfasst.

Dies ermöglichte die Überprüfung der Befunde vorangegangener Untersuchungen ohne individuelle Expositionsabschätzungen und somit den Vergleich mit den von betroffenen Personen häufig zitierten Studien (z.B. Santini, Santini et al. 2002).

5.6. Zusammenstellung der Erhebungsinstrumente

Neben der Exposition und dem subjektiven Befinden der Teilnehmer wurden in den Untersuchungen potentielle Störvariablen berücksichtigt, die einen möglichen Zusammenhang zwischen Mobilfunkfeldern und dem Befinden beeinflussen könnten. Darunter fallen neben soziodemographischen Variablen eine generelle und spezifische Umweltbesorgnis, die Nutzung anderer Medien wie Fernsehen und Computer, familiäre oder schulische Probleme, Stress wie auch verschiedene Persönlichkeitsfaktoren. Alle genannten Variablen wurden mit standardisierten und validierten Messinstrumenten erhoben, die in Tabelle 10 auf der folgenden Seite näher beschrieben werden.

Tabelle 10: Erhebungsinstrumente der zu untersuchenden Variablen

Zu erhebende Variable	Erhebungsinstrument bei:	
	Kindern	Jugendlichen
Exposition gegenüber hochfrequenten EMF		
Mobilfunkbasisstationen, Mobilfunkeigen- und Fremdtelefonate	Individuelle Personendosimetrie (Mobilfunkbereiche getrennt durch Bandpässe im D/E/UMTS-Band, WLAN und DECT)	
Mobilfunkbasisstationen	Nur von Eltern erhoben: individuelle Expositionsabschätzung der Nähe der Wohnung zur nächsten Mobilfunkbasisstation	individuelle Expositionsabschätzung der Nähe der Wohnung zur nächsten Mobilfunkbasisstation
Mobiltelefonnutzung	Fragen aus der Studie des Instituts für angewandte Sozialwissenschaften (infas) (Institut für angewandte Sozialwissenschaft 2003)	
Allgemeine Befindlichkeit und potenzielle Confounder		
Chronische Beschwerden	Fragen aus der HBSC- Studie (Health Behaviour in School-aged Children) (Haugland und Wold 2001)	
Psychische Gesundheit	Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ) (Goodman 1997; Goodman, Meltzer et al. 1998; Klasen, Woerner et al. 2003)	
Schlaf	Kinder und Jugendgesundheitsurvey des Robert Koch-Instituts (Robert Koch-Institut 2007)	
Lebensqualität	Kindl-Fragebogen des Robert Koch-Instituts (Körper, Psyche, Familie, Selbstwert, Freunde, Schule) (Bullinger, von Mackensen et al. 1994; Ravens-Sieberer und Bullinger 1998)	
Soziale Unterstützung	deutsche Version der „Social Support Scale“ (SSS) (Donald und Ware 1984; Erhart, Hölling et al. 2007)	
Soziodemographie	Teile der soziodemographischen Fragen des Kinder und Jugendgesundheitsurvey des Robert Koch-Instituts (Robert Koch Institut 2007)	
Einstellung zum Mobilfunk	Telefoninterview zu Mobilfunkängsten in der Bevölkerung durch I+G Gesundheitsforschung 2001 (Befragung der Eltern bei Kindern zwischen 8 und 12 Jahren) (Institut für angewandte Sozialwissenschaft 2003)	
Umweltbesorgnis	Nur Eltern (Hodapp, Neuhann et al. 1996; Rethage, Eikmann et al. 2004)	Einstellung zur Umwelt FGB (Hodapp, Neuhann et al. 1996; Rethage, Eikmann et al. 2004)
Medienkonsum (Computer, Fernsehen, Spielkonsolen, Musik)	Kinder und Jugendgesundheitsurvey des Robert Koch-Instituts (Robert Koch-Institut 2007)	
Akute Befindlichkeit (3 x am Untersuchungstag)		
Akute Befindlichkeit	Symptome aus Literatur, Antwortkategorien analog der „Zerssen Beschwerdeliste“ (Zerssen 1976)	

Im Weiteren werden nur die Erhebungsinstrumente näher beschrieben, die für die Analyse verwendet wurden.

5.6.1. Akute gesundheitliche Beschwerden, allgemeine Befindlichkeit und potentielle Störgrößen

Akute gesundheitliche Beschwerden

Das von uns gewählte Design bot die Möglichkeit der Korrelation zwischen aktueller personenbezogener Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und dem Auftreten von akuten Symptomen unter realen Bedingungen. Hierzu wurden die Probanden gebeten, zu drei verschiedenen Tageszeiten (morgens, mittags, abends) des Untersuchungstags eine Beschwerdeliste mit 8 Items auszufüllen. Die Likert-Skala war vierstufig skaliert mit den Ausprägungen „gar nicht“ bis „stark“. In der folgenden Tabelle ist der Kurzfragebogen zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit dargestellt. Die Antwortkategorien wurden analog der „Zerssen Beschwerdeliste“ gewählt (Zerssen 1976).

Tabelle 11: Beschwerden-Tagebuch zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit für Kinder und Jugendliche

<p>Bitte fülle diese Liste dreimal am Untersuchungstag aus, am besten morgens, mittags und abends. Mache bitte ein Kreuz in einer der vier Spalten rechts, entsprechend der Stärke deiner Beschwerden.</p> <p>Beantworte bitte alle Punkte, lasse keinen aus!</p>				
			Pb-Nummer: Datum: Uhrzeit:	
Im Moment leide ich unter folgenden Beschwerden:	Stark	Mäßig	Kaum	Gar nicht
Kopfschmerzen				
Rückenschmerzen				
Fühle mich allgemein schlecht				
Bin gereizt oder schlecht gelaunt				
Fühle mich nervös				
Fühle mich benommen, schwindelig				
Fühle mich ängstlich				
Fühle mich müde und erschöpft				

Chronische Beschwerden

Um eine mögliche Assoziation zwischen der Exposition gegenüber Feldern des Mobilfunks und chronischen Beschwerden der Probanden zu überprüfen, wurden mögliche subjektive Beschwerden, die typischer Weise mit einer Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern in Verbindung gebracht werden, mittels standardisierter Erhebungsinstrumente im Interview abgefragt. Hierzu wurden anlog der HBSC-Studie subjektive Gesundheitsbeschwerden erfasst. Die Kinder und Jugendliche wurden gebeten, anzugeben, wie oft in den letzten sechs Monaten folgende Beschwerden auftraten: Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Angst, Einschlafprobleme, Gereiztheit und Nervosität. Als Antwortmöglichkeiten standen die

Kategorien „fast täglich“, „mehrmals pro Woche“, „fast jede Woche“, „etwa einmal im Monat“ sowie „selten oder nie“ zur Verfügung. (Haugland und Wold 2001)

Tabelle 12: Fragen zu den chronischen Beschwerden

Symptomgruppe	Einzelitems
Körperliche Schmerzen	Hast du Kopfschmerzen?
Allgemein schlecht fühlen	Fühlst du dich allgemein schlecht?
Psychische Beschwerden	Bist du gereizt oder schlecht gelaunt? Bist du nervös? Fühlst du dich ängstlich?
Einschlafprobleme	Kannst du schlecht einschlafen?
Müde und erschöpft	Fühlst du dich müde und erschöpft?

Einstellung zum Mobilfunk

Die Einstellungen zum Mobilfunk wurden aus einem Teil des Fragebogens der Umfrage des Instituts für angewandte Sozialwissenschaft (infas) aus dem Jahr 2003 übernommen (Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2003). In dieser zwischen 2003 und 2006 jährlich durchgeführten Umfrage wurde ermittelt, welcher Anteil der Bevölkerung sich Sorgen über elektromagnetische Felder macht, bzw. welcher Anteil bereits konkrete Beeinträchtigungen auf die Felder des Mobilfunks zurückführt und durch welche Merkmale diese Bevölkerungsgruppen charakterisiert sind.

Im Interview wurden u. a. nach der Besorgnis bzgl. elektromagnetischer Felder des Mobilfunks sowie nach der Quelle der Besorgnis (Mobiltelefon, MobilfunkBasisstation, DECT-Telefon) gefragt.

5.6.2. Potenzielle Störgrößen

Soziodemographische Angaben

Die Fragen zur Soziodemographie wurden analog Teilen der soziodemographischen Fragen des Kinder- und Jugendgesundheits surveys des Robert Koch Instituts erfragt (Robert Koch Institut 2007). Insgesamt wurden neun Fragen zu Alter, Wohnsituation,

der besuchten Schule bzw. dem höchsten Schulabschluss, zur Erwerbstätigkeit und der beruflichen Stellung, der Haushaltsgröße und dem Haushaltsnettoeinkommen gestellt.

Neben den allgemeinen soziodemographischen Daten wurden schulische und familiäre Probleme, Mediennutzung sowie soziale Unterstützung zu Beginn der Untersuchung im standardisierten Interview erfasst (Abbildung 15). Um die Länge der Erhebungsinstrumente in einem akzeptablen Rahmen zu halten, wurde auf eine Erfassung weiterer Prädiktoren für die aufgeführten Beschwerden verzichtet, wenn ein verzerrender Einfluss auf die Ergebnisse unwahrscheinlich war.

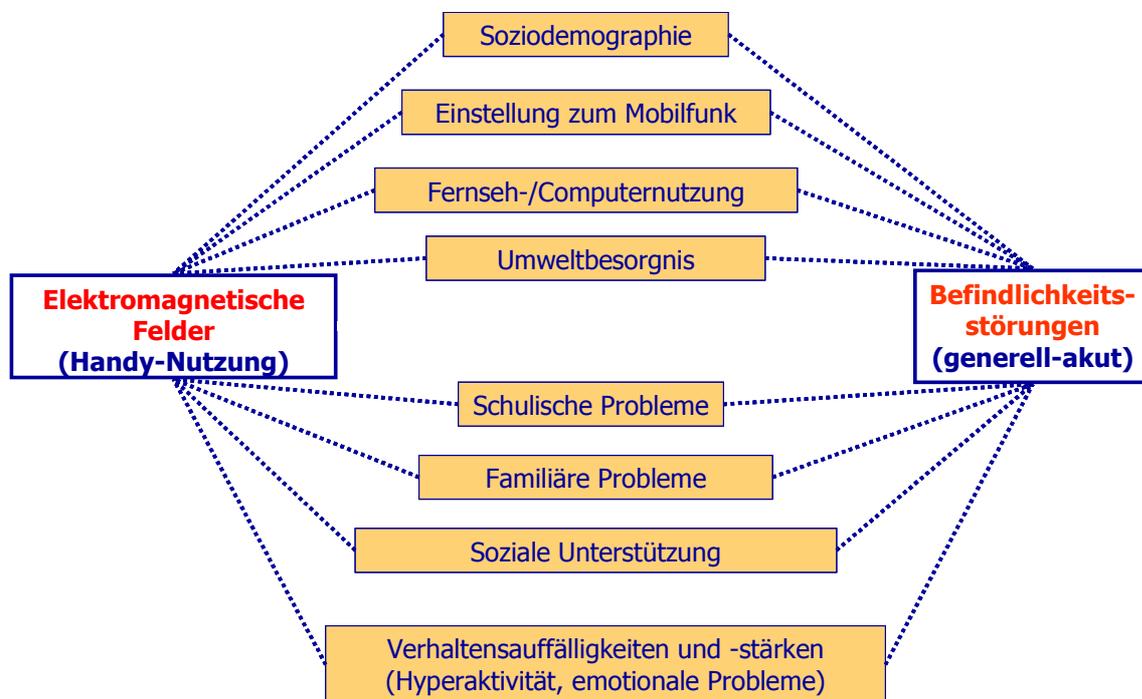


Abbildung 15: Wirkungsmodell

Umweltbesorgnis

Die Umweltbesorgnis wurde für die Eltern der Kinder und die jugendlichen Teilnehmer erfasst. Dabei wurde auf eine standardisierte Skala zur Erfassung der Umweltbesorgnis zurückgegriffen. Die ursprünglich 16 Items umfassende Skala von Hodapp et al. (Hodapp, Neuhann et al. 1996) wurde durch das Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Universität Gießen revidiert und auf 12 Items verkürzt. Diese verkürzte Version, die in der Studie eingesetzt wurde, umfasst u. a. Items zur Erfassung der potentiellen Besorgnis bezüglich Lärm, Geruch und elektromagnetischen Feldern (EMF). Die Skala lässt sich in zwei Bereiche unterteilen: auf der einen Seite Fragen hinsichtlich der Umwelt im Allgemeinen (Makro-Besorgnis) und auf der anderen Seite Fragen hinsichtlich dem Einfluss der Umwelt auf die eigene Gesundheit (Mikro-Besorgnis) (Rethage, Eikmann et al. 2004). Die Aussagen werden auf Basis einer vierstufigen Likert-Skala von: 1 – „trifft nicht zu“, 2 – „trifft kaum zu“, 3 – „trifft eher zu“ bis 4 – „trifft genau zu“ eingeteilt.

Tabelle 13: Fragen zur Erfassung der Umweltbesorgnis

Nr.	Subskala	Itemtext
1	Allgemeine Umweltbesorgnis	Je mehr Informationen ich über die Umweltbelastungen bekomme, desto unsicherer fühle ich mich.
2	Allgemeine Umweltbesorgnis	Unsere Nachkommen werden für die Folgen der Umweltbelastung büßen müssen
3	Allgemeine Umweltbesorgnis	Ich habe Angst vor der Zukunft, wenn ich an unsere Umwelt denke.
4	Allgemeine Umweltbesorgnis	Die Menschen haben die Kontrolle über die Auswirkungen der Technik auf die Umwelt verloren.
5	Chemie	Ich denke oft darüber nach, dass ich Schadstoffe in meinen Körper aufnehme.
6	Chemie	Ich mache mir Sorgen, dass Umweltgifte meine geistigen Fähigkeiten beeinträchtigen
7	Elektromagnetische Felder	Ich denke oft darüber nach, dass ich elektromagnetische Felder mit meinen Sinnen (Körper) nicht wahrnehmen kann.
8	Elektromagnetische Felder	Die Abgase der chemischen Industrie haben die vielen Allergien erzeugt; jetzt bleibt abzuwarten, welche Folgen die Zunahme der Elektrosmogbelastung hat
9	Lärm	Die dauernde Lärmbelästigung durch unsere Zivilisationsgesellschaft hat bestimmt große Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.
10	Lärm	Lärm kann starke Auswirkungen auf zwischenmenschliche Beziehungen haben.
11	Geruch	Wenn belästigende Gerüche in meinem Wohngebiet auftreten, mache ich mir Sorgen um meine Gesundheit.
12	Geruch	Belästigende Gerüche im Wohngebiet beeinträchtigen nachbarschaftliche und private Aktivitäten.

5.7 . Statistische Analysen

5.7.1. Statistischer Auswertungsplan

Der vorliegende Auswertungsplan wurde gemeinsam mit Herrn PD Dr. Christian Heumann vom Institut für Statistik der LMU München erstellt.

Es wurde eine stratifizierte Auswertung für Kinder und Jugendliche vorgesehen, da sich diese beiden Gruppen u.a. hinsichtlich der Erhebung von Confoundern unterscheiden. In die Auswertung gingen nur Probanden ein, die das Dosimeter mindestens sechs von 24 Stunden getragen haben. Nach der deskriptiven Beschreibung der Daten und bivariaten Analysen wurden mittels Regressionsmodellen die Zusammenhänge zwischen Exposition und Befinden untersucht. Dazu wurde die Expositionsvariable in Quartile eingeteilt. Die Hauptanalysen sind in

Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Assoziation zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und Befinden

	Prädiktor	Outcome
Objektive Expositionsabschätzung mittels Personendosimetrie		
1	Aktuelle Exposition in Quartilen (am Vormittag und am Nachmittag des Untersuchungstags)	Akute Befindlichkeit (mittags und abends am Untersuchungstag)
2	Exposition tagsüber in Quartilen	Chronische Beschwerden
Subjektive Expositionsabschätzung durch die Teilnehmer		
3	Selbsteinschätzung der aktuellen Exposition (am Vormittag und am Nachmittag des Untersuchungstags) durch Angabe von Eigentelefonaten	Akute Befindlichkeit (mittags und abends am Untersuchungstag)
4	Selbsteinschätzung der allgemeinen Exposition durch Angabe der Entfernung der Wohnung zur nächsten Basisstation	Chronische Beschwerden

Da die nächtlichen Messwerte nicht personenbezogen erhoben werden konnten (vgl. Kapitel 5.4.2), wurde für jeden Probanden die individuelle Schlafenszeit bestimmt. Die nächtlichen Messwerte gingen nicht in die Berechnung der kumulierten

Gesamtexposition ein, in den Analysen wurde nur die kumulierte Gesamtexposition während des Tagesverlaufs (Wachzeit) verwendet. Die Festlegung der Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag ist in Kapitel 5.7.2 erläutert. In die die aktuelle Exposition betreffende Auswertung gingen nur Probanden ein, bei denen die Dauer des individuellen Vormittags bzw. Nachmittags mindestens drei Stunden betrug. Alle beschriebenen Analysen wurden sowohl für die gesamte Wachexposition als auch für die einzelnen parallel zu dem Symptomtagebuch erfassten Tagesabschnitte (Vormittag und Nachmittag) durchgeführt. Hierbei wurden die folgenden akuten und chronischen Beschwerden betrachtet:

Tabelle 15: Akute und chronische Beschwerden

Akute Beschwerden	Chronische Beschwerden
Kopfschmerzen	Kopfschmerzen
Gereiztheit	Gereiztheit
Nervosität	Nervosität
Schwindel	Schwindel
Müdigkeit	Müdigkeit
Konzentrationsprobleme	Angst
	Einschlafprobleme

Die Erhebung der akuten und der chronischen Beschwerden wurde bereits in Kapitel 5.6.1 beschrieben. Diese ursprünglich mehrkategorialen Variablen (Ausprägungen: selten oder nie, etwa einmal im Monat, fast jede Woche, mehrmals pro Woche, fast täglich bei chronischen Beschwerden bzw. gar nicht, kaum, mäßig, stark bei akuten Beschwerden) wurden aufgrund geringer Prävalenzen in den höchsten beiden Kategorien dichotomisiert. Dabei wurden chronische Beschwerden als vorhanden definiert, wenn sie fast jede Woche oder häufiger auftraten und als nicht vorhanden, wenn sie nur etwa einmal im Monat oder seltener angegeben wurden. Akute Beschwerden wurden als nicht vorhanden definiert, wenn die Ausprägung gar nicht angegeben wurde und galten sonst als vorhanden.

5.7.2. Einteilung der Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag

Für die Bestimmung der aktuellen Exposition war eine Definition der Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag nötig. Aus diesem Grund wurden fünf alternative Methoden für die Einteilung der Tagesabschnitte betrachtet und miteinander verglichen. Alle Methoden basieren auf den individuellen Aufsteh- und Zubettgehzeiten bzw. den individuell angegebenen morgendlichen, mittäglichen und abendlichen Ausfüllzeiten des Beschwerden-Tagebuchs. Eine Übersicht der Methoden ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Übersicht über verschiedene Methoden zur Einteilung der Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag

Methode	Definition des Vormittags	Definition des Nachmittags
Methode 1 (im weiteren verwendet)	Ausfüllzeit* morgens bis Ausfüllzeit* mittags	Ausfüllzeit* mittags bis Ausfüllzeit* abends
Methode 2	Aufstehzeit bis Ausfüllzeit* mittags	Ausfüllzeit* mittags bis Zubettgehzeit
Methode 3	Aufstehzeit (spätestens 10 Uhr) bis 12 Uhr	12 Uhr bis Zubettgehzeit
Methode 4	Ausfüllzeit* mittags-4h bis Ausfüllzeit* mittags	Ausfüllzeit* abends-4h bis Ausfüllzeit* abends
Methode 5	Aufstehzeit (spätestens 10 Uhr) bis 12 Uhr	12 Uhr bis 18 Uhr

* Ausfüllzeit des Beschwerden-Tagebuchs für morgendliche, mittägliche und abendliche akute Beschwerden

Methode 1 hat den Vorteil, dass bei der Bestimmung der vormittäglichen und nachmittäglichen akuten Exposition die individuellen Tagesabläufe der Probanden berücksichtigt werden. Dieses Vorgehen ist konsistent zur Bestimmung der Wachphasen-Exposition, bei der die individuellen Schlafenszeiten berücksichtigt werden. Ein Nachteil von Methode 1 ist, dass die Ausfüllzeiten der Beschwerdelisten möglicherweise von den Probanden nicht korrekt angegeben wurden. Dies würde zu einem nicht-systematischen Fehler bei der Bestimmung der Tagesabschnitte führen; allerdings sind keine großen Abweichungen von der angegebenen zur tatsächlichen Ausfüllzeit zu erwarten.

Ebenso wie Methode 1 betrifft der nicht-systematische Fehler bei den mittäglichen Ausfüllzeiten auch Methode 2. Zudem kann bei dieser Methode aufgrund der Definition des Nachmittags auch ein systematischer Fehler auftreten, da die abendliche Beschwerdeliste insbesondere von den Jugendlichen bereits etwa zwei Stunden vor Ablegen des Dosimeters ausgefüllt wird. Somit gehen bei Methode 2 Werte in die akute nachmittägliche Exposition ein, die erst nach Angabe der abendlichen Beschwerden gemessen wurden.

Methode 3: Bei den mittäglichen Ausfüllzeiten der Beschwerdelisten gibt es erhebliche Unterschiede zwischen Kindern und Jugendlichen. Eine pauschale Festlegung der Tageszeitengrenze auf 12 Uhr führt somit zu einem nicht-systematischen Fehler, der die Einteilung der Vormittags- und Nachmittagsexposition betrifft. Bezüglich der Definition des Nachmittags ist Methode 3 zudem von demselben systematischen Fehler betroffen wie Methode 2.

Methode 4 weist den Vorteil auf, dass die beiden Tagesabschnitte für jeden Probanden dieselbe Dauer haben. Allerdings ist die hier festgelegte Dauer von vier Stunden willkürlich gewählt, da die für akute Beschwerden relevante Dauer der akuten Exposition unbekannt ist. Zudem ist es denkbar, dass die berichteten Beschwerden unter Umständen schon seit mehreren Stunden andauern und daher die Exposition, die möglicherweise die Beschwerden ausgelöst hat, länger zurück liegt.

Da bei Methode 5 der Vormittag genauso wie bei Methode 3 definiert ist, gelten hier die entsprechenden oben genannten Überlegungen. Bei der Einteilung des Nachmittags wird der individuell unterschiedliche Tagesablauf der Probanden nur unzureichend berücksichtigt. Zudem füllten vor allem die Jugendlichen die abendliche Beschwerdeliste meist deutlich später als 18 Uhr aus; die nach 18 Uhr gemessene Exposition geht allerdings nicht in die nachmittägliche Exposition ein. Daraus könnte ein systematischer Fehler bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Nachmittagsexposition und abendlichen akuten Beschwerden resultieren.

Um zu beurteilen, inwieweit die Expositionswerte aus den unterschiedlichen Methoden vergleichbar sind, wurde anhand des Teildatensatzes aus dem Studienort München die Spearman-Korrelation zwischen den resultierenden Tagesabschnittsexpositionen berechnet und die zugehörigen Streudiagramme betrachtet. Bei diesen Berechnungen wurden nur Probanden eingeschlossen, deren Tagesabschnitts-

Expositionen jeweils mindestens drei Stunden dauerten (hiervon ausgenommen ist der Vormittag bei den Methode 3 und 5).

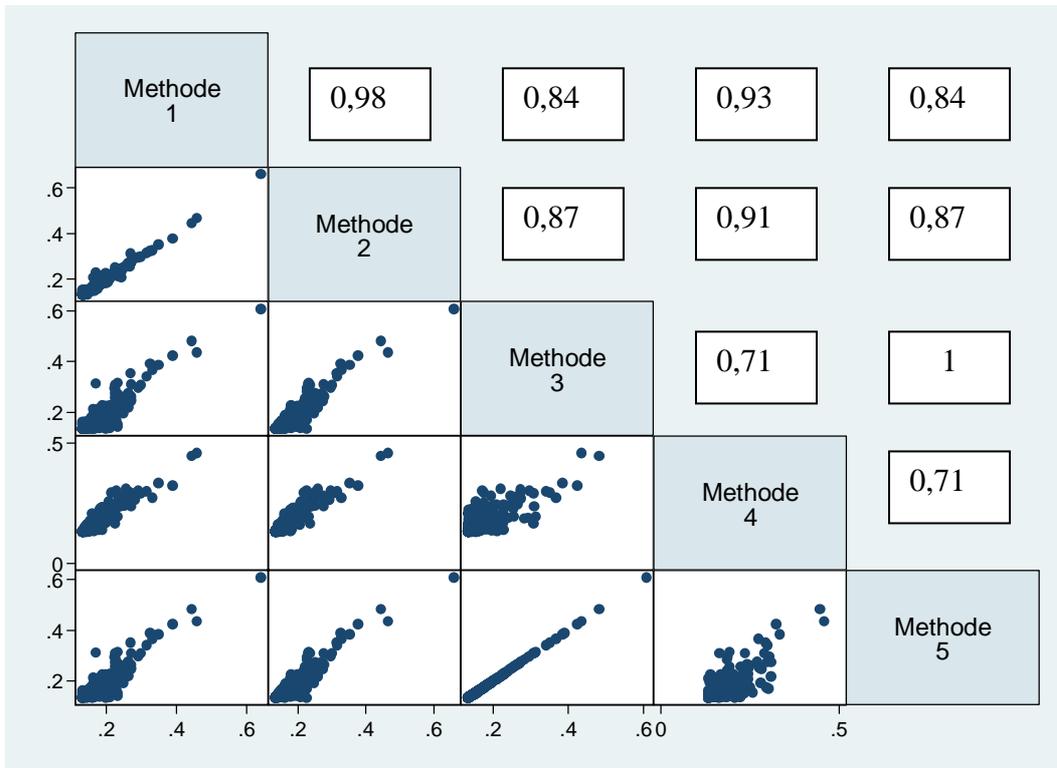


Abbildung 16: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Vormittagsexposition (Daten der Münchner Kinder)

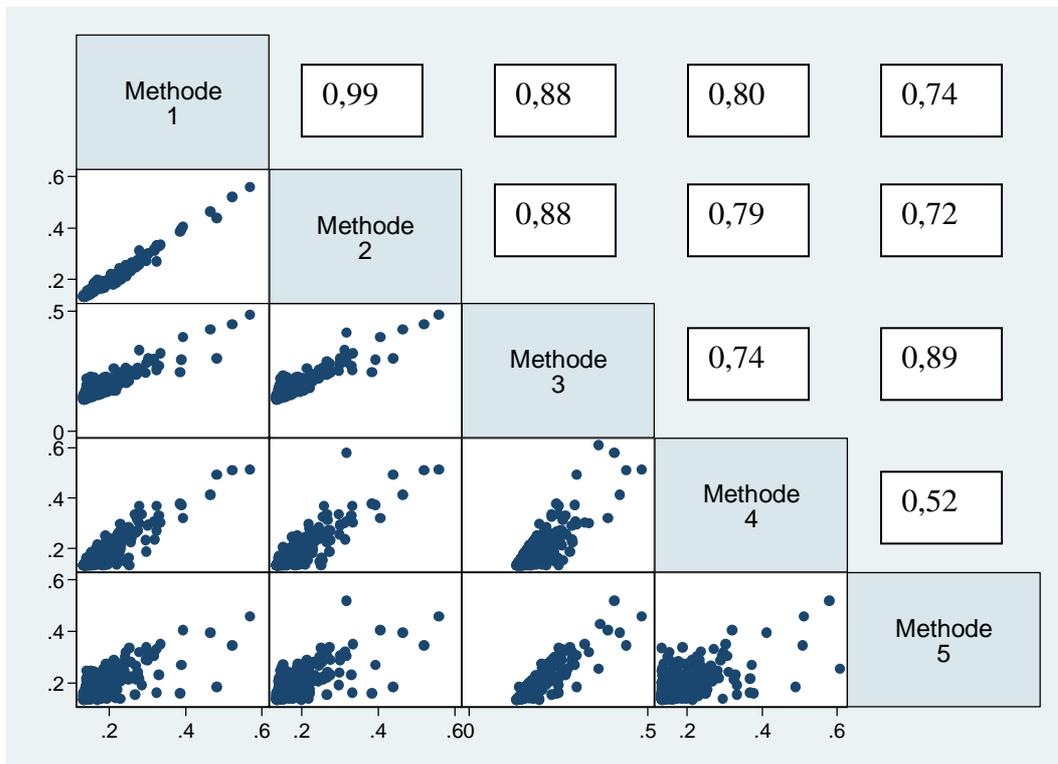


Abbildung 17: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Nachmittagsexposition (Daten der Münchner Kinder)

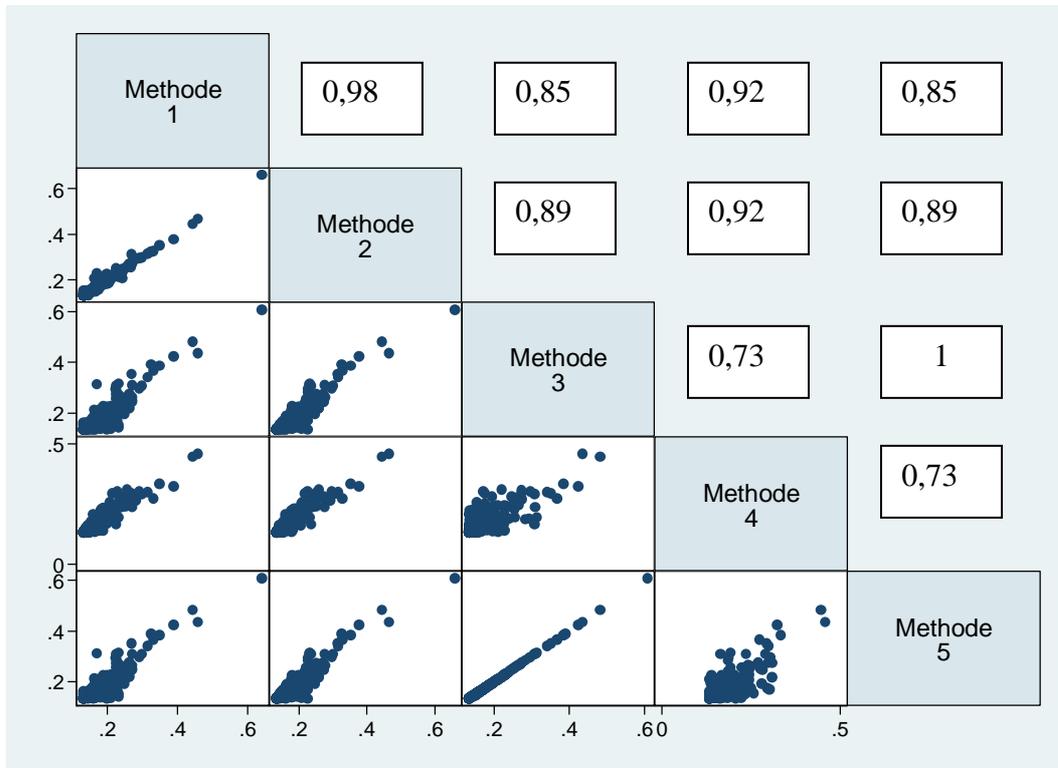


Abbildung 18: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Vormittagsexposition (Daten der Münchner Jugendlichen)

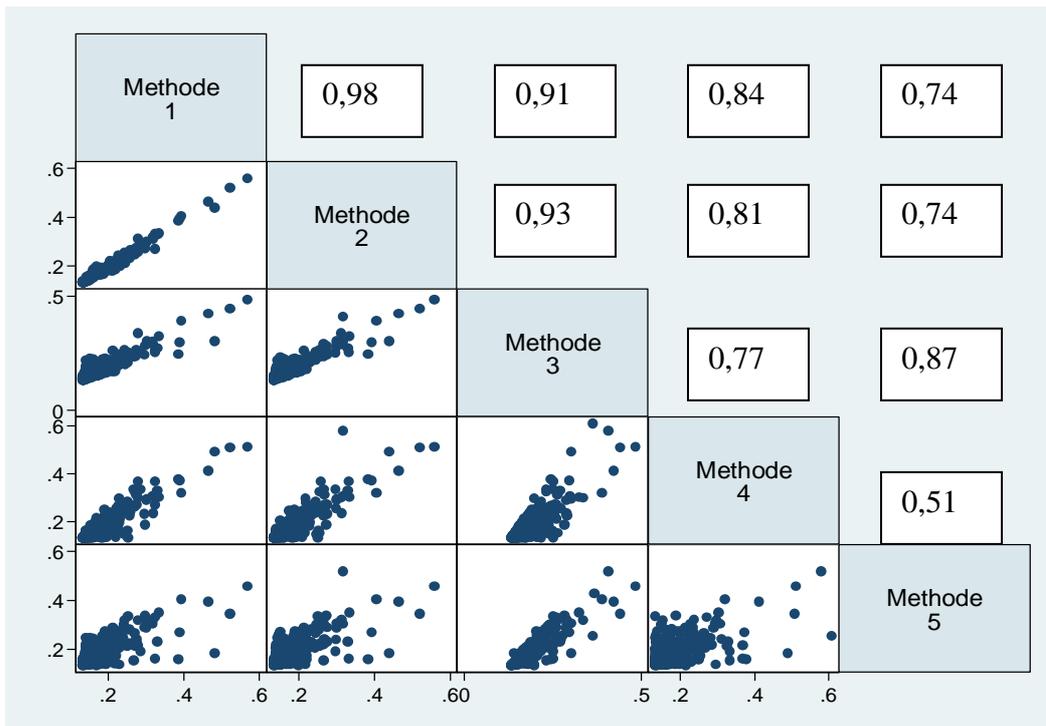


Abbildung 19: Streudiagramme sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman der nach den verschiedenen Methoden berechneten Nachmittagsexposition (Daten der Münchner Jugendlichen)

In Abbildung 16- Abbildung 19 wird bei Betrachtung der Korrelationskoeffizienten deutlich, dass die unterschiedlich berechneten Tagesabschnitts-Expositionen stark miteinander korreliert sind.

Die relativ geringe Korrelation zwischen der Nachmittagsexposition von Methode 4 und Methode 5 ist dadurch zu erklären, dass bei Methode 4 hauptsächlich Werte eingehen, die nach 18 Uhr gemessen wurden, während der Nachmittag bei Methode 5 nur bis 18 Uhr definiert ist.

Methode 1 und Methode 4 haben gegenüber den restlichen Methoden den Vorteil, dass bei ihrer Anwendung kein systematischer Fehler bei der Einteilung der Exposition in die Tagesabschnitte zu erwarten ist. Methode 1 erscheint allerdings aus inhaltlichen Aspekten sinnvoller als Methode 4 und ist zudem mit den übrigen Methoden höher korreliert.

In allen statistischen Analysen wurde daher die akute Exposition des Vormittags und des Nachmittags analog Methode 1 bestimmt, d.h. der Vormittag wurde definiert als die Zeit zwischen der morgendlichen und mittäglichen Ausfüllzeit des Beschwerden-Tagebuchs und der Nachmittag zwischen der mittäglichen und abendlichen Ausfüllzeit.

5.7.3. Quantifizierungskonzept für die Hauptanalysen

Für die Hauptanalysen wurde die kumulierte Gesamtexposition gegenüber hochfrequenten Feldern des Mobilfunks zu Grunde gelegt. Die von den Probanden selbst eingeschätzte Exposition gegenüber Mobilfunkfeldern wurde ebenfalls als Maß für die Exposition verwendet. Hierbei wurde in den Hauptanalysen analog zu früheren Studien die selbst eingeschätzte Entfernung der Wohnung zur nächsten Mobilfunkbasisstation als kategoriales Expositionsmaß eingesetzt. Diese Analysen dienten der Überprüfung der Befunde vorangegangener Untersuchungen ohne individuelle Expositionsabschätzungen und somit dem Vergleich mit den von betroffenen Personen häufig zitierten Studien (Santini, Santini et al. 2002; Navarro, Segura et al. 2003).

5.7.4. Quantifizierungskonzept für die Sensitivitätsanalysen

Als Sensitivitätsanalyse wurden die Auswertungen getrennt für die drei folgenden Frequenzbereiche der Exposition vorgenommen: GSM 900, GSM 1800 (einschließlich UMTS und DECT) sowie WLAN. Diese drei Expositionsvariablen gingen zusammen in die Regressionsmodelle ein. Es ist nach den Ergebnissen der Pilotstudie davon auszugehen, dass die Exposition in den einzelnen Bereichen eng mit der Gesamtexposition korreliert. Dies gilt insbesondere für den dominanten GSM-900 Bereich.

In einer weiteren Sensitivitätsanalyse geht die Exposition als binäre Variable (Cut-off am 90%-Perzentil) in die Regressionsmodelle ein.

Die Haupt- und Sensitivitätsanalysen sind in der folgenden Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Quantifizierungskonzept für die Haupt- und die Sensitivitätsanalysen

Hauptanalysen	Sensitivitätsanalysen
Objektive Expositionsabschätzung mittels Personendosimetrie	
Kumulative Gesamtexposition in Quartilen a) Zeitraum: vormittags / nachmittags (akute Befindlichkeit) b) Zeitraum: tagsüber (chronische Beschwerden)	Kumulative Exposition im GSM-900, GSM-1800 (inkl. UMTS und DECT) sowie WLAN Bereich: a) Zeitraum: vormittags/ nachmittags (akute Befindlichkeit) b) Zeitraum: tagsüber (allgemeine Befindlichkeit) Kumulative Exposition als binäre Variable (Cut-off: 90%-Perzentil) a) Zeitraum: vormittags/ nachmittags (akute Befindlichkeit) b) Zeitraum: tagsüber (allgemeine Befindlichkeit)
Subjektive Expositionsabschätzung durch die Teilnehmer	
Selbsteinschätzung der Exposition a) aktuell (Mobiltelefonnutzung) (akute Befindlichkeit) b) allgemein (Entfernung der Wohnung zum nächsten Mobilfunksendemast) (chronische Beschwerden)	Selbsteinschätzung der Exposition durch Mobilfunkbasisstationen in Nähe der Schule (nur für die Jugendlichen)

5.7.5. Problem des multiplen Testens

Da der Zusammenhang zwischen der kumulierten Gesamtexposition und verschiedenen Zielgrößen untersucht werden soll, entsteht das Problem des multiplen Testens. Diesem wird durch die Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund einer Bonferroni-Korrektur begegnet.

5.7.6. Deskriptive und bivariate Darstellung

Für kategoriale Daten wurden absolute und relative Häufigkeiten berechnet. Stetige Variablen werden als Mittelwert mit Standardabweichung sowie als 25%-, 50%-(Median) und 75%-Quartil dargestellt.

Bei stetigen, nicht normalverteilten Variablen wurden die Unterschiede zwischen zwei Gruppen (z.B. Teilnehmer und Nicht-Teilnehmer) mit Hilfe des Wilcoxon-Rangsummentests untersucht, bei kategorialen Variablen mit Hilfe des Chi²-Tests. In Fällen, in denen die Häufigkeitstabellen Zellen mit weniger als fünf erwarteten Beobachtungen aufwiesen, wurde statt des Chi²-Test Fisher's exakter Test verwendet.

5.7.7. Bildung der logistischen Regressionsmodelle

Um die Assoziation zwischen der Exposition und Befindlichkeit zu bestimmen, wurde zunächst bivariat überprüft, ob ein Zusammenhang besteht. Die Exposition wurde als kategoriale Variable verwendet und dazu in Quartile eingeteilt. An diese Analyse schließt sich die logistische Regression für binäre Zielgrößen an (Tutz 2000). Die ursprünglich mehrkategorialen Zielgrößen (Ausprägungen: selten oder nie, etwa einmal im Monat, fast jede Woche, mehrmals pro Woche, fast täglich bei chronischen Beschwerden bzw. gar nicht, kaum, mäßig, stark bei akuten Beschwerden) wurden aufgrund geringer Prävalenzen in den höchsten beiden Kategorien dichotomisiert. Dabei wurden chronische Beschwerden als vorhanden definiert, wenn sie fast jede Woche oder häufiger auftraten und als nicht vorhanden, wenn sie nur etwa einmal im Monat oder seltener angegeben wurden. Akute Beschwerden wurden als nicht vorhanden definiert, wenn die Ausprägung gar nicht angegeben wurde und galten sonst als vorhanden.

In den bivariaten Analysen wurde zunächst die Assoziation zwischen den a-priori definierten potentiellen Störgrößen (vgl. Tabelle 18) und der Zielgröße „Müdigkeit“ sowie der Exposition ermittelt. In der multivariaten Analyse wurden die Odds Ratios dann für diese a-priori definierten potentiellen Confounder adjustiert. Die Adjustierung für die Variablen Alter und Geschlecht ist in epidemiologischen Studien Standard. Die Angaben zur subjektiven Exposition der Kinder und Jugendlichen wurden als Confounder mit aufgenommen, da diese vor allem im Hinblick auf die Eigentelefonate die objektiven Exposition beeinflussen können. Um eine mögliche Korrelation zwischen subjektiver und objektiver Exposition auszuschließen und somit einer Verzerrung der Ergebnisse vorzubeugen, wurden die Modelle ebenfalls ohne Adjustierung für die Variablen der subjektiven Exposition gerechnet.

Das für die Zielgröße „Müdigkeit“ ermittelte Modell wurde auf die anderen Zielgrößen übertragen, um einheitlich interpretierbare Modelle zu erhalten. Es wurden darüber hinaus sowohl adjustierte als auch unadjustierte Odds Ratios dargestellt.

Ursprünglich wurden die Variablen *Lebensqualität*, *Soziale Unterstützung*, *Psychische Gesundheit*, *Medienkonsum wochentags* und *Medienkonsum am Wochenende* ebenfalls als potentielle Störgrößen betrachtet. Aus diesem Grund wurde a priori an einem Teildatensatz bivariat überprüft, ob es sich bei den genannten Variablen um Confounder handelt. Da sich keine Zusammenhänge zwischen den genannten Variablen und der Wachexposition zeigten, wurden diese Variablen nicht als Confounder betrachtet und die multivariaten Modelle nicht für diese Variablen adjustiert.

Tabelle 18: A-priori definierte potentielle Störgrößen

Potentielle Störgröße	Ausprägungen	
Alter	8 – 10 Jahre 11 – 12 Jahre (Kinder)	13 – 15 Jahre 16 – 17 Jahre (Jugendliche)
Geschlecht	männlich weiblich	
Schulbildung	Mind. (Fach-)Abitur niedrigerer Abschluss (Eltern)	Gymnasium andere Schultypen (Jugendliche)
Studienort	München, Augsburg, Rosenheim, Landsberg	
Umweltbesorgnis	hoch (> Median) niedrig (\leq Median)	
Häufigkeit der Mobiltelefonate*	täglich oder fast täglich seltener als fast täglich	
Häufigkeit der DECT-Telefonate	täglich oder fast täglich seltener als fast täglich	
Entfernung der Basisstation von der Wohnung (selbsteingeschätzt)**	< 500m \geq 500m	

* Wird nicht als Störgröße betrachtet in Modellen mit über Eigen-Mobiltelefonate selbsteingeschätzter Exposition

** Wird nicht als Störgröße betrachtet in Modellen mit über Entfernung der Basisstation selbsteingeschätzter Exposition

An Hand des Gesamtdatensatzes wurde zusätzlich überprüft, ob die nicht berücksichtigten Variablen „Lebensqualität“, „Soziale Unterstützung“, „Psychische Gesundheit“ und „Medienkonsum“ potenzielle Confounder im Gesamtdatensatz darstellen, die bei der Betrachtung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Exposition und den Zielgrößen hätten berücksichtigt werden müssen. Zu diesem Zweck wurde überprüft, ob diese Variablen mit der Wachexposition assoziiert sind (Tabelle 19). Die einzig statistisch signifikante Assoziation mit der Wachexposition

zeigte sich in der Gruppe der Jugendlichen für die Variable „Soziale Unterstützung“ ($p=0,001$). Daher wurde für diese Variable zusätzlich ein möglicher Zusammenhang mit der Hauptzielgröße „chronische Müdigkeit“ überprüft. Diese Assoziation war allerdings nicht statistisch signifikant ($p=0,46$). Auf Grund dieser Beobachtungen ist nicht zu erwarten, dass eine der zusätzlich untersuchten Variablen einen potenziellen Confounder darstellt und in die Modelle in der Gesamtauswertung hätte aufgenommen werden müssen.

Tabelle 19: p-Werte für die bivariate Assoziation zwischen nicht verwendeten Einflussgrößen und der Wachexposition

Variable	p-Werte für Assoziation mit Wachexposition (Quartile)	
	Kinder	Jugendliche
Lebensqualität	0,14	0,16
Soziale Unterstützung	0,12	0,001
Psychische Gesundheit	0,49	0,08
Medienkonsum (wochentags)	0,07	0,14
Medienkonsum (Wochenende)	0,79	0,06

5.7.8. Nicht-parametrische Regression

Um mögliche nicht-lineare Zusammenhänge zwischen Exposition (als stetiger Variable) und der Zielgröße „Müdigkeit“ explorativ zu ermitteln, wurde ein generalisiertes additives Modell (GAM) verwendet, das für die a-priori definierten Confounder adjustiert wurde. Falls mit Hilfe des GAM ein nicht-linearer Einfluss der stetigen Expositionsvariable gefunden wurde, wurden die logistischen Regressionsmodelle – zusätzlich zur Berechnung mit der in Quartile eingeteilten Exposition – mit der entsprechend transformierten stetigen Expositionsvariable und den a-priori definierten Confoundern berechnet.

6. Darstellung der Ergebnisse⁷

6.1. Vergleich von Teilnehmern und Nichtteilnehmern

Um eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse durch selektive Nichtteilnahme zu untersuchen, werden im Folgenden die Angaben der Kurzfragebögen von Teilnehmern der 24h-Messung mit denjenigen verglichen, die nur den Kurzfragebogen ausfüllten (siehe Tabelle 20 und Tabelle 21). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Nichtteilnehmer einen Kurzfragebogen beantworteten. Ebenso lag für sieben teilnehmende Kinder kein Kurzfragebogen der Eltern vor. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Fragen nach der Besorgnis über elektromagnetische Felder sowie über das Herkunftsland von Mutter und Vater erst etwa ein halbes Jahr nach Beginn der Feldphase in den Kurzfragebogen aufgenommen wurden. Daher weisen diese drei Variablen einen höheren Anteil an fehlenden Werten auf.

Bei den Kurzfragebögen der Kinder, die von den Eltern ausgefüllt wurden, ergaben sich die in Tabelle 20 dargestellten Unterschiede zwischen Teilnehmern und Nichtteilnehmern an der 24h-Messung.

Sowohl in der Gruppe der Teilnehmer als auch in der Gruppe der Nichtteilnehmer füllten zu über 75% die Mütter den Kurzfragebogen aus.

Bei den Teilnehmern gaben mehr Eltern an, ein Mobiltelefon zu besitzen als bei den Nichtteilnehmern (93% gegenüber 90%). Das Mobiltelefon wurde in beiden Gruppen überwiegend privat und eher für kurze Telefonate genutzt.

Es zeigte sich, dass Eltern mit höherer Schulbildung (Schulabschluss mindestens Fachabitur) eher bereit waren, mit ihren Kindern an der Studie teilzunehmen. Zudem waren die Eltern der teilnehmenden Kinder im Mittel etwa eineinhalb Jahre älter als die der nicht teilnehmenden Kinder.

Neben der Schulbildung und dem Alter konnte auch ein Unterschied hinsichtlich der Besorgnis über elektromagnetische Felder beobachtet werden. Demnach waren die Eltern, die an der Studie teilnahmen, stärker besorgt als die Eltern, die nicht teilnahmen.

⁷ In Anlehnung an die Dissertationen von Dipl.-Psych. Sabine Heinrich, Dipl.-Statistikerin Anja Kühnlein, Dipl.-Päd. Silke Thomas, MPH (in Vorbereitung)

Die Eltern, die nicht an der Studie teilnahmen, gaben zudem vermehrt an, die Entfernung ihrer Wohnung zur nächsten Mobilfunkbasisstation nicht zu kennen.

Es ist somit insgesamt davon auszugehen, dass vermehrt Eltern, die sich über das Thema Mobilfunk und Gesundheit Gedanken machten, bereit waren, an der Studie teilzunehmen. Dies sollte bei der Interpretation insbesondere der deskriptiven Daten berücksichtigt werden.

In der Gruppe der Teilnehmer gaben etwa 84% der Mütter und Väter Deutschland als Geburtsland an. Dieser Anteil war in der Gruppe der Nichtteilnehmer mit 73% etwas geringer.

Tabelle 20: Non-Response Analyse für die Eltern der Kinder: Vergleich der Eltern, die nur den Kurzfragebogen ausgefüllt haben („Nichtteilnehmer“) mit solchen, die auch an der Feldphase teilnahmen („Teilnehmer“)

Variable	Teilnehmer (n=1477)		Nicht- teilnehmer (n=628)		p-Wert
	Mittelwert (Standard- abweichung)	Fehlende Werte	Mittelwert (Standard- abweichung)	Fehlende Werte	
<i>Alter (Jahre)</i>	41,6 (5,2)	9	40,0 (5,4)	4	<0,0001
	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	
<i>Geschlecht: männlich</i>	359 (24,3)	2	139 (22,2)	2	0,29
<i>Mobiltelefon-Besitz</i>	1365 (92,9)	7	562 (89,8)	2	0,02
Davon:					
<i>Mobiltelefonnutzung überwiegend</i>		7		1	0,24
<i>geschäftlich</i>	108 (8,0)		34 (6,1)		
<i>privat</i>	914 (67,3)		396 (70,6)		
<i>privat und geschäftlich</i>	336 (24,7)		131 (23,4)		
<i>Durchschnittliche Dauer der Mobiltelefonate pro Tag</i>		16		6	0,16
<i>< 5 min bzw. gar nicht</i>	1057 (72,4)		475 (76,4)		
<i>6-15 min</i>	237 (16,2)		95 (15,3)		
<i>16-30 min</i>	93 (6,4)		28 (4,5)		
<i>> 30 min</i>	74 (5,1)		24 (3,9)		
<i>Selbsteingeschätzte Entfernung der Wohnung von einer Basisstation</i>		29		10	<0,0001
<i>< 50 m</i>	114 (7,9)		53 (8,6)		
<i>50-100 m</i>	246 (17,0)		91 (14,7)		
<i>100-500 m</i>	585 (40,4)		159 (25,7)		
<i>≥ 500 m</i>	464 (32,0)		179 (29,0)		
<i>weiß nicht</i>	39 (2,7)		136 (22,0)		
<i>Besorgnis über elektromagnetische Felder</i>		431		145	<0,0001
<i>gar nicht</i>	82 (7,8)		93 (19,3)		
<i>wenig</i>	498 (47,6)		257 (53,2)		
<i>ziemlich</i>	386 (36,9)		106 (22,0)		
<i>stark</i>	80 (7,7)		27 (5,6)		
<i>(Hoch-) Schulabschluss (Fach-)Abitur oder Studium</i>		11		9	<0,0001
	748 (51,0)		250 (40,4)		
<i>Herkunftsland Mutter</i>		423		146	<0,0001
<i>Deutschland</i>	902 (85,6)		347 (72,0)		
<i>Herkunftsland Vater</i>		443		163	<0,0001
<i>Deutschland</i>	863 (83,5)		338 (72,7)		

Bei den Jugendlichen konnten ebenfalls Unterschiede zwischen Teilnehmern und Nichtteilnehmern beobachtet werden. So waren Mädchen, jüngere Jugendliche und Jugendliche, die das Gymnasium besuchten eher bereit, an der Studie teilzunehmen. Auch Jugendliche, die ein Mobiltelefon besaßen, nahmen häufiger an der Studie teil. Allerdings waren bezüglich der Art der Nutzung sowie der Gesprächsdauer keine Unterschiede zwischen Teilnehmern und Nichtteilnehmern zu erkennen. In beiden Gruppen nutzten die Jugendlichen das Mobiltelefon zu über 95% privat und in der Regel weniger als fünf Minuten pro Tag.

Ebenfalls vergleichbar mit den Eltern gaben die Jugendlichen, die nicht an der Studie teilnahmen, vermehrt an, die Entfernung ihrer Wohnung zur nächsten Mobilfunkbasisstation nicht zu kennen. Insgesamt schätzte der überwiegende Teil sowohl der jugendlichen Teilnehmer als auch der Nichtteilnehmer, dass die nächste Basisstation mehr als 100 m entfernt sei. Bei Betrachtung der Besorgnis über elektromagnetische Felder zeigt sich ebenfalls ein ähnliches Bild wie bei den Eltern: Jugendliche, die an der Studie teilnahmen, waren insgesamt eher besorgt als Jugendliche, die nicht teilnahmen.

Ebenso war bei den jugendlichen Teilnehmern der Anteil der Eltern, die in Deutschland geboren waren, höher als bei den Nichtteilnehmern.

Tabelle 21: Non-Response Analyse für die Jugendlichen: Vergleich der Jugendlichen, die nur den Kurzfragebogen ausgefüllt haben („Nichtteilnehmer“) mit solchen, die auch an der Feldphase teilnahmen („Teilnehmer“)

Variable	Teilnehmer (n=1508)		Nicht- teilnehmer (n=814)		p-Wert
	Mittelwert (Standard- abweichung)	Fehlende Werte	Mittelwert (Standard- abweichung)	Fehlende Werte	
<i>Alter (Jahre)</i>	14,7 (1,5)	0	15,0 (1,5)	4	<0,0001
	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	
<i>Geschlecht: männlich</i>	730 (48,4)	0	440 (54,1)	0	0,009
<i>Mobiltelefon-Besitz</i>	1373 (91,2)	2	711 (87,4)	0	0,004
Davon:					
<i>Mobiltelefonnutzung überwiegend</i>		11		8	0,24
<i>geschäftlich</i>	6 (0,4)		2 (0,3)		
<i>privat</i>	1313 (96,4)		669 (95,2)		
<i>privat und geschäftlich</i>	43 (3,2)		32 (4,6)		
<i>Durchschnittliche Dauer der Mobiltelefonate pro Tag</i>		12		8	0,25
<i>< 5 min bzw. gar nicht</i>	1153 (77,1)		593 (73,6)		
<i>6-15 min</i>	239 (16,0)		142 (17,6)		
<i>16-30 min</i>	69 (4,6)		48 (6,0)		
<i>> 30 min</i>	35 (2,3)		23 (2,9)		
<i>Selbsteingeschätzte Entfernung der Wohnung von einer Basisstation</i>		36		11	<0,0001
<i>< 50 m</i>	113 (7,7)		74 (9,2)		
<i>50-100 m</i>	277 (18,8)		120 (14,9)		
<i>100-500 m</i>	532 (36,1)		196 (24,4)		
<i>≥ 500 m</i>	503 (34,2)		274 (34,1)		
<i>weiß nicht</i>	47 (3,2)		139 (17,3)		
<i>Besorgnis über elektromagnetische Felder</i>		402		193	<0,0001
<i>gar nicht</i>	369 (33,4)		269 (43,3)		
<i>wenig</i>	600 (54,3)		303 (48,8)		
<i>ziemlich</i>	120 (10,9)		38 (6,1)		
<i>stark</i>	17 (1,5)		11 (1,8)		
<i>Schulbildung</i>		3		4	<0,0001
<i>Gymnasiast</i>	743 (49,4)		253 (31,2)		
<i>Herkunftsland Mutter</i>		396		193	<0,0001
<i>Deutschland</i>	946 (85,1)		465 (74,9)		
<i>Herkunftsland Vater</i>		398		195	<0,0001
<i>Deutschland</i>	912 (82,2)		454 (73,3)		

6.2. Darstellung der deskriptiven Ergebnisse

6.2.1. Ausschöpfung der untersuchten Stichprobe

Insgesamt wurden 6.386 Kinder und Jugendliche (bzw. deren Eltern, da es sich ja um Minderjährige handelte) im Alter zwischen 8 und 17 Jahren postalisch kontaktiert und zur Studienteilnahme eingeladen. Von den kontaktierten Personen waren 399 (6,3% der Bruttostichprobe) verzogen oder weniger als 50% am Studienort anwesend. 59 Kinder und Jugendliche (0,9%) konnten aus gesundheitlichen Gründen und 58 (0,9%) aufgrund von Verständigungsproblemen nicht an der Studie teilnehmen. Verständigungsschwierigkeiten spielten erwartungsgemäß bei den Eltern der Kinder eine größere Rolle als bei den Jugendlichen. Es resultierte eine Nettostichprobe von 5.870 Personen (siehe Tabelle 22).

In Abbildung 20 und Abbildung 21 und ist die Verteilung der Ausfallgründe getrennt für Kinder und Jugendliche dargestellt. Sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen war ein Umzug bzw. eine seltene Anwesenheit am Studienort mit Abstand der häufigste Ausfallgrund.

Tabelle 22: Ausschöpfung von Brutto- und Nettostichprobe und Verteilung der Gründe für Ausfall und Nicht-Teilnahme

	absolute Anzahl	% der Bruttostichprobe	% der Nettostichprobe
Bruttostichprobe	6386		
Ausfall aufgrund von			
gesundheitlichen Gründen	59	0,9	
verzogen oder weniger als 50% am Studienort anwesend	399	6,3	
Verständigungsschwierigkeiten	58	0,9	
<i>Ausfälle gesamt</i>	<i>516</i>	<i>8,1</i>	
Nettostichprobe	5870	91,9	100
Nicht-Teilnahme an der 24h-Messung aufgrund von			
allgemeine Ablehnung, Misstrauen, Desinteresse, Annahme verweigert, Beeinflussung durch Angehörige	783	12,3	13,3
Zeitmangel	159	2,5	2,7
kein Telefonbucheintrag, telefonisch nicht erreicht	1044	16,3	17,8
Gründe unbekannt	863	13,5	14,7
<i>Nichtteilnehmer gesamt</i>	<i>2849</i>	<i>44,6</i>	<i>48,5</i>
Teilnahme Kurzfragebogen	4452	69,7	76,0
Teilnahme an 24h-Messung	3022	47,3	51,5

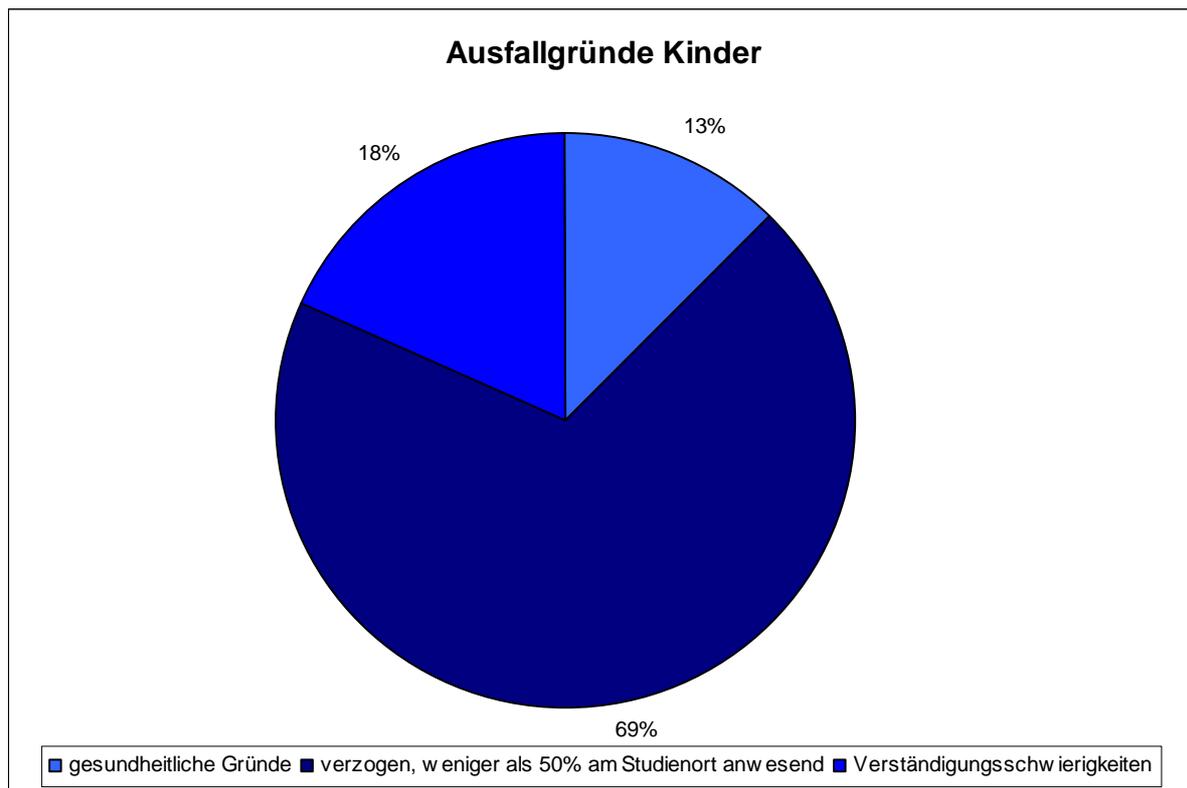


Abbildung 20: Verteilung der Gründe für einen Ausfall bei den Kindern (n = 255)

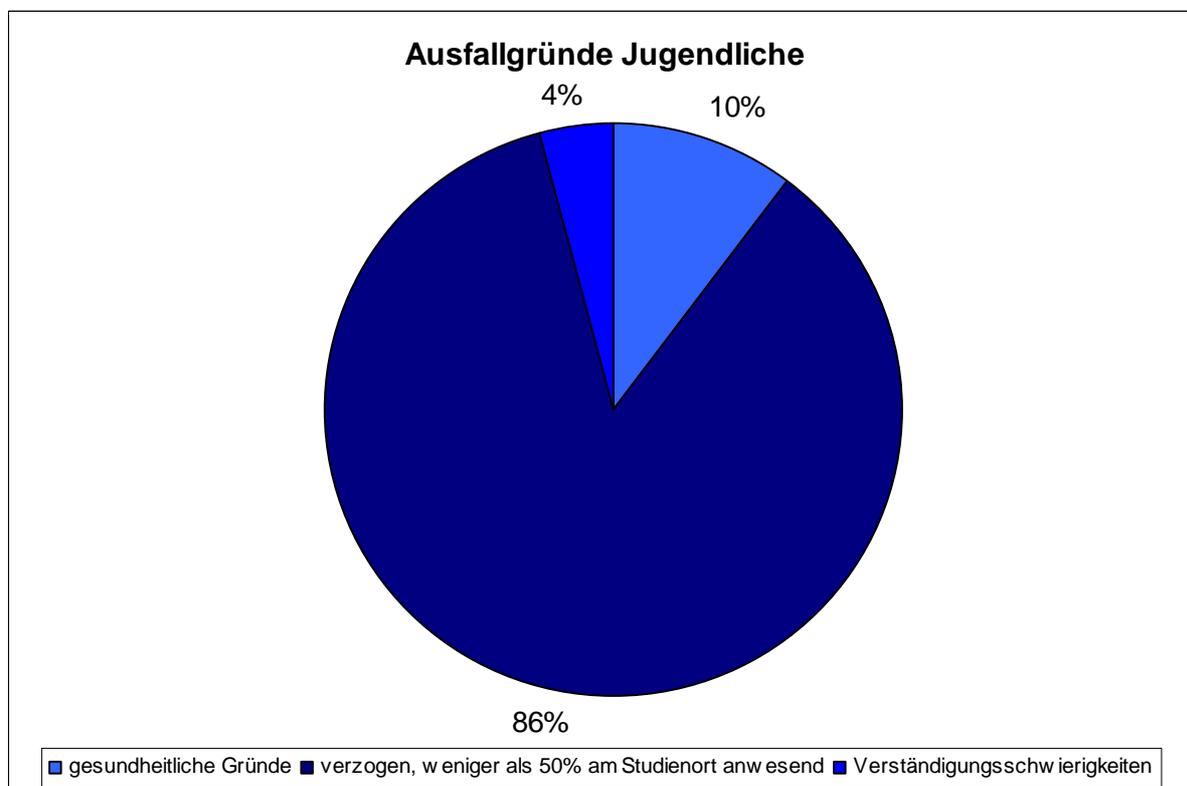


Abbildung 21: Verteilung der Gründe für einen Ausfall bei den Jugendlichen (n = 261)

Ausgehend von der Nettostichprobe wollten 2.849 Personen nicht an der Studie teilnehmen (48,5%). 159 Kinder und Jugendliche (2,7%) wollten aufgrund von Zeitmangel nicht teilnehmen. 783 Personen (13,3%) nannten als Verweigerungsgrund „allgemeine Ablehnung“, „Misstrauen“, „Desinteresse“, verweigerten die Annahme des Einladungsschreibens oder wurden nach eigenen Angaben von Angehörigen beeinflusst. Bei 863 (14,7%) Kindern und Jugendlichen wurde kein Grund für die Nicht-Teilnahme genannt. Der häufigste Grund für eine Nichtteilnahme war jedoch bei 1044 Personen (17,8%), das sie nicht auf die Einladungsschreiben reagierten und vom Studienteam auch nach fünf Anrufen nicht telefonisch erreicht werden konnten oder gar nicht im Telefonbuch eingetragen waren (siehe Tabelle 22).

In Abbildung 22 und Abbildung 23 sind die Verteilungen der genannten Gründe für die Nicht-Teilnahme für Kinder und Jugendliche getrennt dargestellt. Stratifiziert für Kinder und Jugendliche zeigte sich, dass in beiden Altersgruppen die verschiedenen Gründe für die Nicht-Teilnahme an der 24h-Messung nahezu gleich häufig auftraten. 1.430 (50,2%) der Nicht-Teilnehmer beantworteten zumindest den ihnen zugesandten Kurzfragebogen.

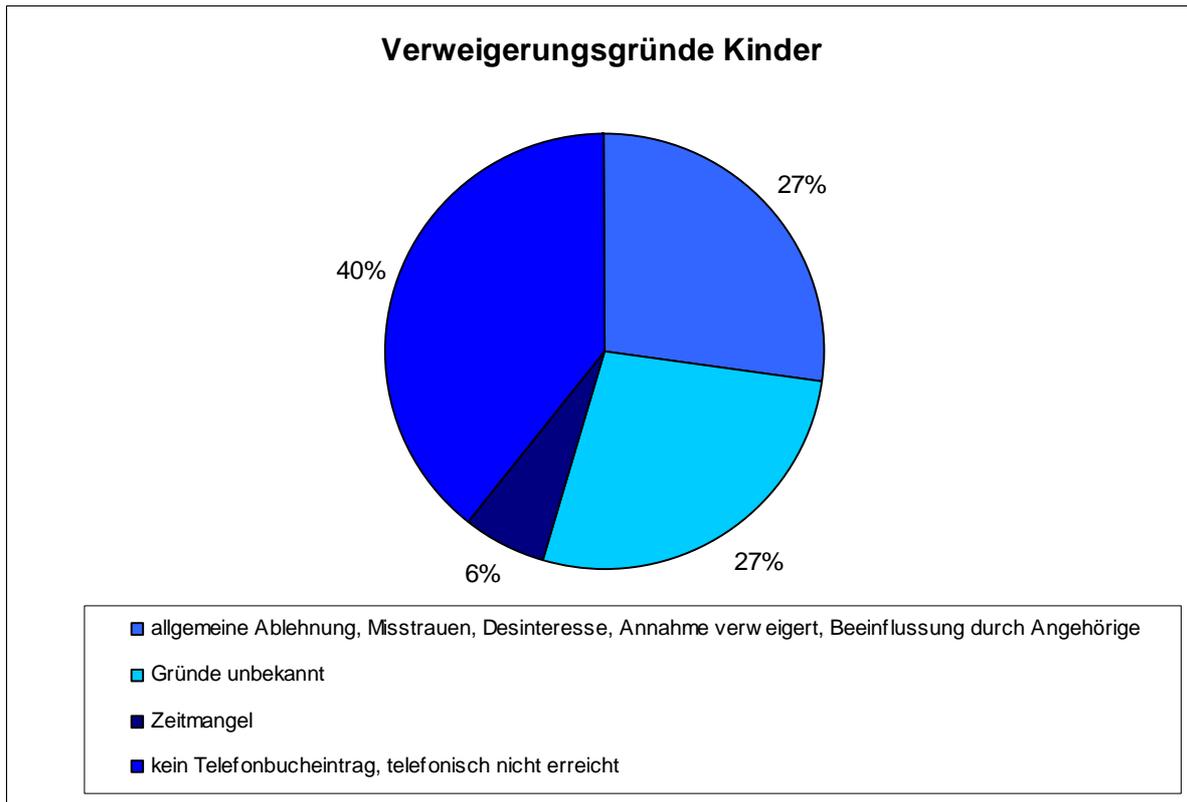


Abbildung 22: Verteilung der Gründe für die Nicht-Teilnahme bei den Kindern (n=1373)

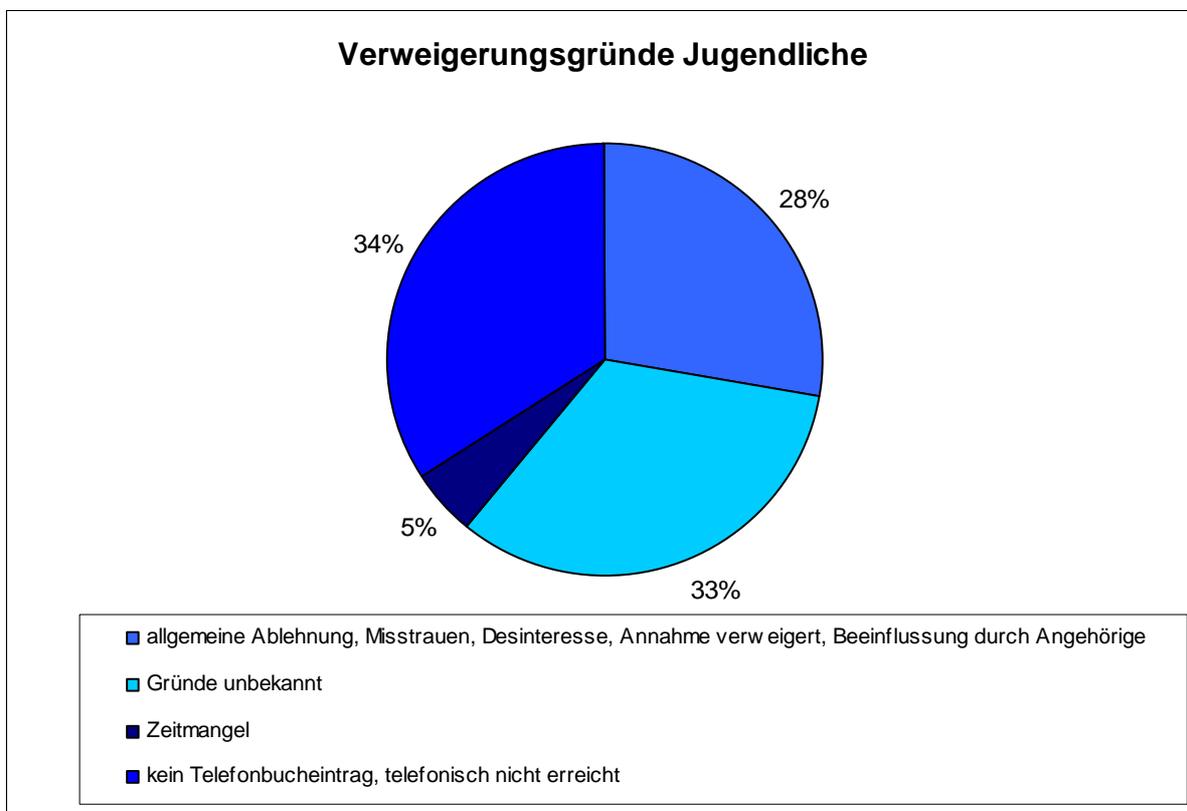


Abbildung 23: Verteilung der Gründe für die Nicht-Teilnahme bei den Jugendlichen (n =1476)

Insgesamt beantworteten 4.452 Personen (76% der Nettostichprobe) den ihnen zugesandten Kurzfragebogen. Die Verteilung dieser Kurzfragebögen auf die vier Studienorte zeigt Abbildung 24. Jugendliche waren mit 78% etwas häufiger als Eltern (74%) bereit, den Kurzfragebogen auszufüllen. Für alle Studienorte ergab sich erwartungsgemäß eine deutlich höhere Bereitschaft, den Kurzfragebogen auszufüllen, als an der 24h-Messung mit ausführlichem Interview teilzunehmen.

In München nahmen 1.195 Kinder und Jugendliche an der Studie teil. In Augsburg nahmen insgesamt 604 Probanden teil, in Rosenheim waren es 617 Teilnehmer und in Landsberg wurden insgesamt 606 Kinder und Jugendliche eingeschlossen. Insgesamt nahmen 3.022 Personen (1.498 Kinder und 1.524 Jugendliche) an Interview und 24h- Messung teil. Die Teilnahmebereitschaft von 52% entsprach den Erwartungen aus der Pilotstudie. Kinder nahmen mit 53% etwas häufiger als die Jugendlichen (51%) teil.

Die Teilnahmebereitschaft am ausführlichen Interview fiel in Augsburg mit 46% am geringsten und in Landsberg am höchsten (59%) aus. Dies könnte durch z.T. längere Anfahrtswege zum Studienzentrum in Augsburg bedingt sein, da die Stichprobe in Augsburg (im Gegensatz zu München) aus dem gesamten Stadtgebiet gezogen wurde. In der Kleinstadt Landsberg fielen die Anfahrtswege generell kürzer aus.

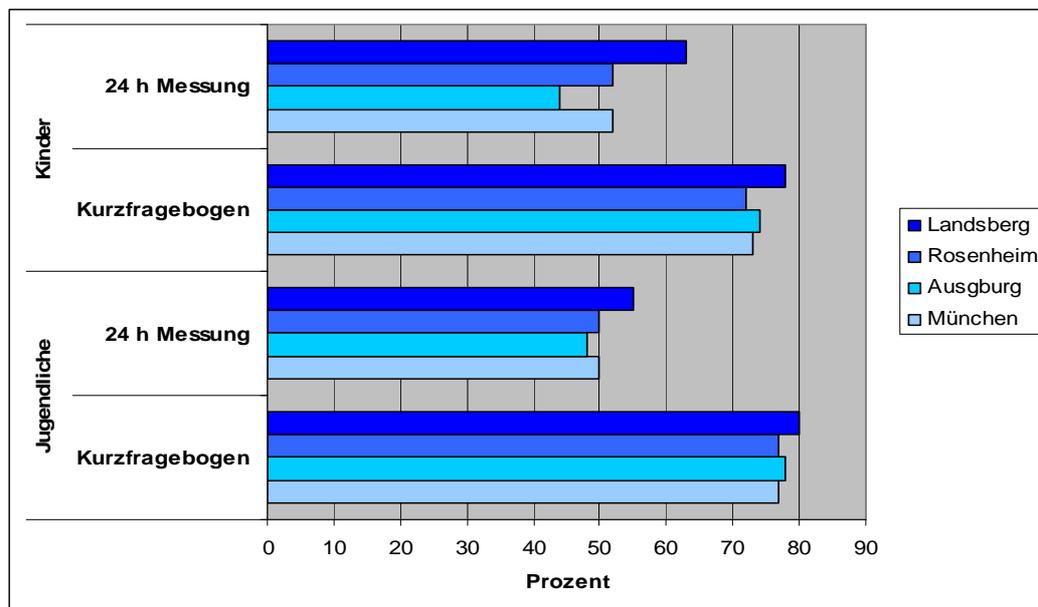


Abbildung 24: Teilnahmebereitschaft am Kurzfragebogen und Interview in den vier Studienorten

Dauer der Zeit zwischen Erhalt des Kurzfragebogens und dem Interview

In den beiden folgenden Abbildung 25 und Abbildung 26 ist die Zeitdifferenz zwischen dem Erhalt des Kurzfragebogens und dem Interview (in Tagen) für die vier Studienorte sowie für die Gesamtdaten als Boxplot dargestellt.

Dabei kennzeichnet der Anfang der Box das 25%-Quantil und das Ende der Box das 75%-Quantil. Der Median (50%-Quantil) ist als Linie innerhalb der Box dargestellt. Die Linien außerhalb der Box werden bis zum 5%- bzw. 95%-Quantil gezogen. Außerhalb dieses Bereichs liegende Werte werden als Punkte markiert.

Bei den Kindern war die zeitliche Differenz in Landsberg am niedrigsten (Median: 10 Tage), in München war die Differenz am höchsten (Median: 17 Tage).

Bei den Jugendlichen war die zeitliche Differenz zwischen Erhalt des Kurzfragebogens und der Interview ebenfalls in Landsberg am geringsten (Median: 11 Tage), in den drei anderen Studienorten lag sie annähernd gleich bei im Median 15-16 Tagen.

Insgesamt betrug die Differenz zwischen Erhalt des Kurzfragebogens und Interview für alle vier Studienorte bei Kindern (Median: 15 Tage) und Jugendlichen (Median: 14 Tage) zwei Wochen. Die Ausreißer in den Abbildungen sind dadurch zu erklären, dass einige Probanden erst sehr spät nach Erhalt des Einladungsschreibens zum Interviewtermin kamen. Bei den Tagen, wo kein zeitlicher Unterschied zwischen Interview und Erhalt des Kurzfragebogens lag, füllten die Probanden den Fragebogen direkt beim Interviewtermin aus. Dies war u. a. dann der Fall, wenn die Eltern die Angaben im Fragebogen versehentlich für das Kind ausfüllten anstatt ihre eigenen Angaben einzutragen.

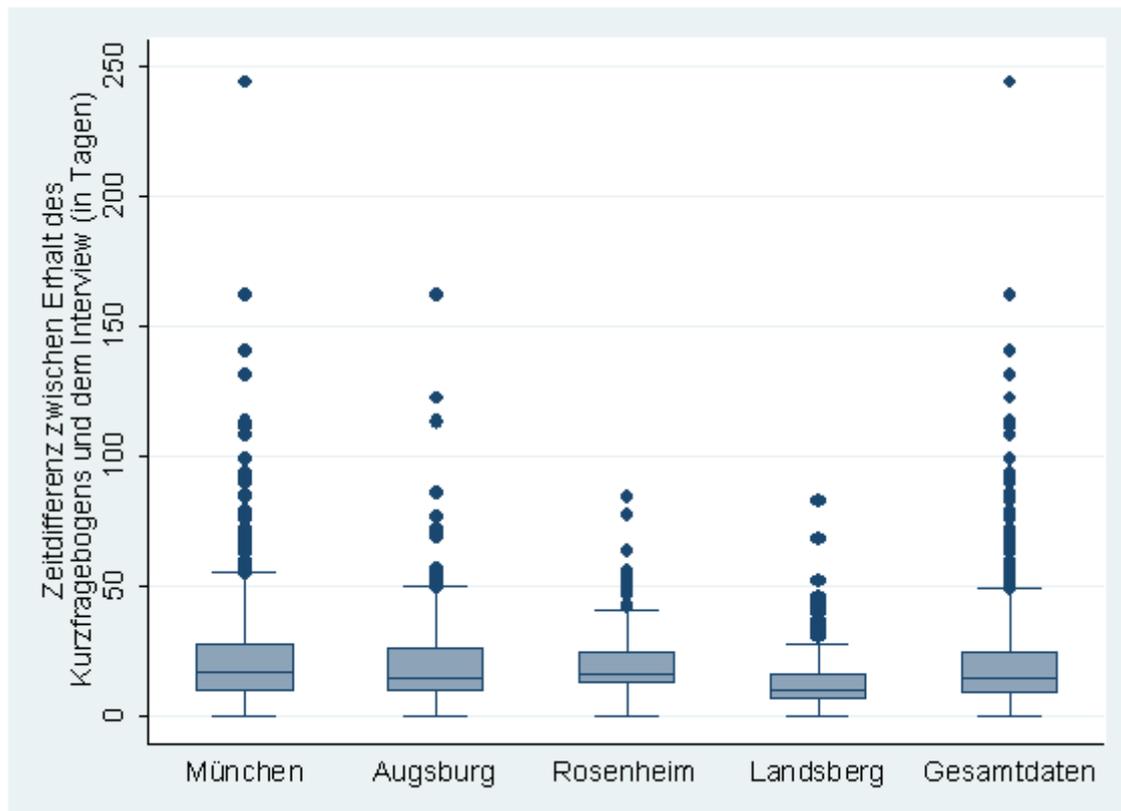


Abbildung 25: Zeitdifferenz zwischen dem Erhalt des Kurzfragebogens und dem Interview (in Tagen) bei den Kindern

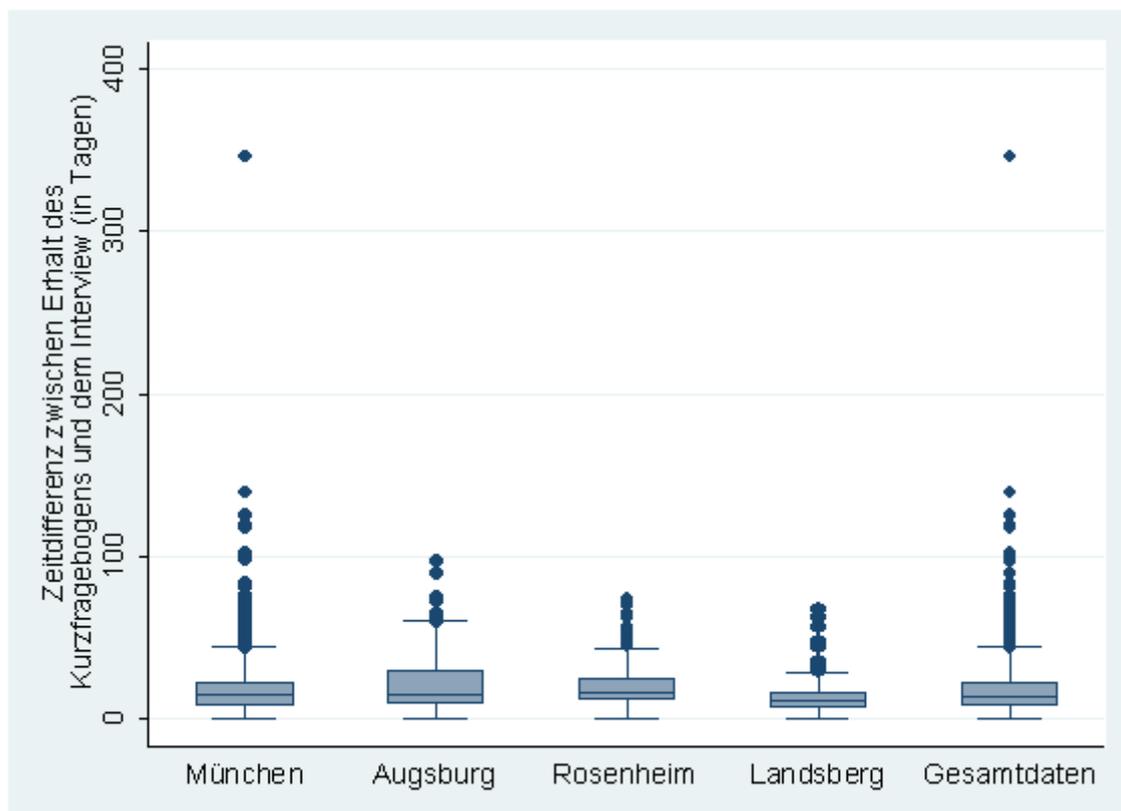


Abbildung 26: Zeitdifferenz zwischen dem Erhalt des Kurzfragebogens und dem Interview (in Tagen) bei den Jugendlichen

6.2.2. Soziodemographische Daten

In Tabelle 23 sind die soziodemographischen Daten der an der Feldphase teilnehmenden Kinder und Jugendlichen dargestellt. Die Angaben dieser Tabelle ergeben sich aus den bei den Kindern, Jugendlichen und Eltern durchgeführten Interviews und können daher leicht von den vorher dargestellten Ergebnissen aus dem Kurzfragebogen abweichen.

Sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen nahmen etwas mehr Mädchen als Jungen teil. Der überwiegende Teil der Jugendlichen und Eltern der Kinder hatte eine höhere Schulbildung. Dies traf vor allem für die Eltern der Kinder zu, wobei zu berücksichtigen ist, dass hier nur der höchste der beiden Abschlüsse der Eltern gewertet wurde.

Einen deutlichen Unterschied zwischen Kindern und Jugendlichen sieht man beim Mobiltelefon-Besitz. Während von den Jugendlichen 91% angaben, ein Mobiltelefon zu besitzen, waren es bei den Kindern nur 50%. Gleichzeitig nutzten die Jugendlichen nach eigenen Angaben das Mobiltelefon auch häufiger und länger als die Kinder.

Bezogen auf die Nutzung des DECT-Telefons zeigte sich der gleiche Trend. Auch hier berichteten die Jugendlichen eine längere und häufigere Nutzung des schnurlosen Telefons als die Kinder. So telefonierten die meisten Kinder weniger als 5 Minuten pro Tag, wohingegen die meisten Jugendlichen angaben, mehr als 30 Minuten zu telefonieren. Beim Besitz eines schnurlosen Telefons gab es keine Unterschiede zwischen Kindern und Jugendlichen.

Tabelle 23: Soziodemographische Daten: Angaben der Kinder bzw. deren Eltern und der Jugendlichen aus dem Interview

Variable	Kinder (n=1484)		Jugendliche (n=1508)	
	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte
<i>Alter</i>		0		0
8-10 bzw. 13-15 Jahre	791 (53,3)		963 (63,9)	
11-12 bzw. 16-17 Jahre	693 (46,7)		545 (36,1)	
<i>Geschlecht: männlich</i>	724 (48,9)	3	731 (48,5)	0
<i>(Hoch-) Schulabschluss bzw. Schulbildung *</i>		20		7
(Fach)-Abitur oder Studium bzw. Gymnasium	939 (64,1)		771 (51,4)	
<i>Mobiltelefon-Besitz</i>	747 (50,4)	3	1377 (91,4)	2
<i>Mobiltelefon-Netz</i>		338		92
D-Netz	248 (60,6)		801 (62,3)	
E-Netz	161 (39,4)		484 (37,7)	
<i>Häufigkeit der Mobiltelefonate</i>		4		1
gar nicht	628 (42,4)		150 (10,0)	
seltener als mehrmals pro Woche	709 (47,9)		761 (50,5)	
mehrmals pro Woche	82 (5,5)		248 (16,5)	
täglich oder fast täglich	61 (4,1)		348 (23,1)	
<i>Dauer der Mobiltelefonate pro Tag</i>		8		0
< 5 min bzw. gar nicht	1351 (91,5)		1124 (74,5)	
6-15 min	105 (7,1)		268 (17,8)	
16-30 min	15 (1,0)		75 (5,0)	
> 30 min	5 (0,3)		41 (2,7)	
<i>DECT-Besitz</i>	1252 (84,7)	5	1295 (85,9)	1
<i>Häufigkeit der DECT-Telefonate</i>		7		1
gar nicht	270 (18,3)		237 (15,7)	
seltener als mehrmals pro Woche	392 (26,5)		155 (10,3)	
mehrmals pro Woche	399 (27,0)		280 (18,6)	
täglich oder fast täglich	416 (28,2)		835 (55,4)	
<i>Dauer der DECT-Telefonate pro Tag</i>		52		26
< 5 min bzw. gar nicht	823 (57,5)		461 (31,1)	
6-15 min	416 (29,1)		337 (22,7)	
16-30 min	136 (9,5)		321 (21,7)	
> 30 min	57 (4,0)		363 (24,5)	

* Die Variable Schulbildung bezieht sich bei den Kindern auf die höchste (Hoch-) Schulbildung der Eltern

6.2.3. Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks

In Abbildung 27 ist getrennt für die an der Feldphase teilnehmenden Kinder und Jugendlichen ein Vergleich der Exposition gegenüber Feldern des Mobilfunks als mittlerer prozentualer Anteil am ICNIRP-Grenzwert für die Wachzeit sowie die Tagesabschnitte Vormittag und Nachmittag dargestellt. Die genauen Expositionswerte können Tabelle 1 im Anhang entnommen werden.

Die mittlere Gesamtexposition über die Wachzeit lag für alle Probanden deutlich unterhalb des Grenzwerts. Das Expositionsminimum von 0,13% des Grenzwerts entspricht der Gesamtexposition, die sich ergibt, wenn alle Messwerte des Probanden unterhalb des messbaren Bereichs liegen und durch die Hälfte der Bestimmungsgrenze (0,025 V/m) ersetzt werden.

Die Verteilung der Exposition war für Kinder und Jugendliche ähnlich. Obwohl der Maximalwert bei den Kindern höher lag, wiesen die Jugendlichen eine etwas höhere mittlere Exposition auf als die Kinder. Maximal lag der mittlere prozentuale Anteil der Wachexposition am ICNIRP-Grenzwert bei 0,92%. In beiden Gruppen war die Exposition nachmittags höher als am Vormittag.

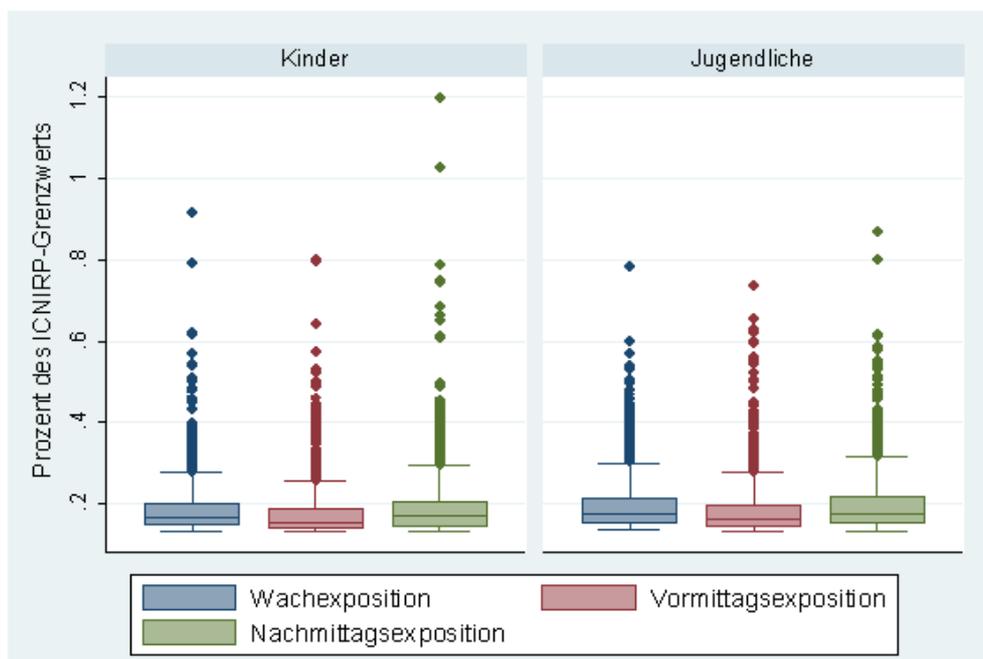


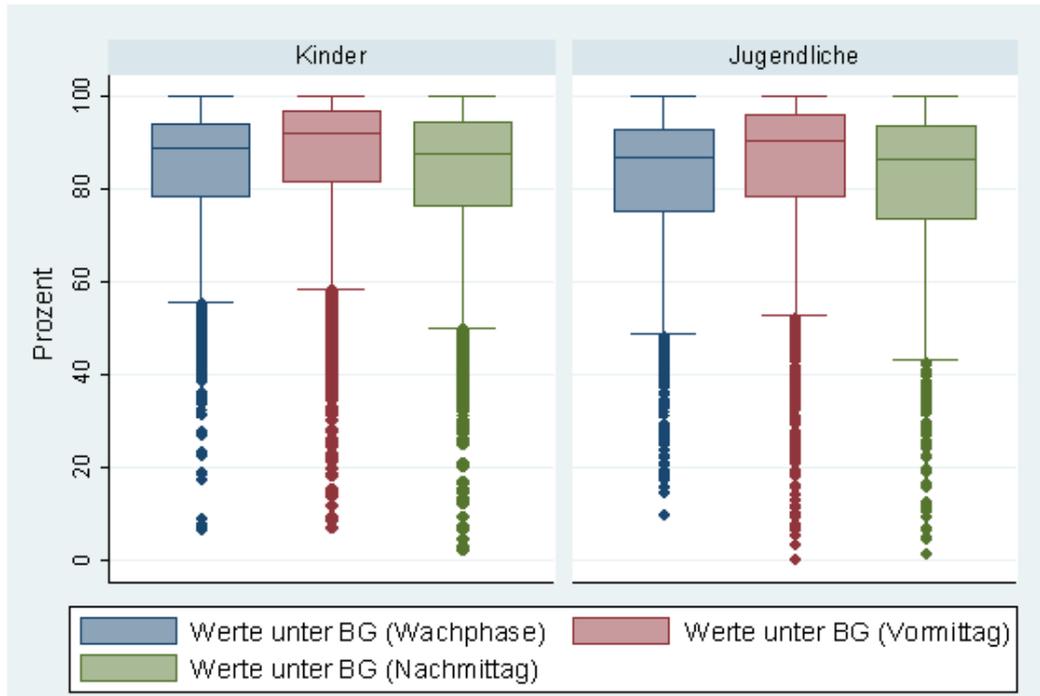
Abbildung 27: Mittlere Gesamtexposition während der Wachphase und den Tagesabschnitten Vormittag und Nachmittag in Prozent des ICNIRP-Grenzwerts

In Abbildung 28 ist getrennt für Kinder und Jugendliche ein Vergleich des Anteils der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze in den Zeitabschnitten Wachphase, Vormittag und Nachmittag dargestellt (vgl. dazu auch Tabelle 2 im Anhang).

Es wird ersichtlich, dass sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen ein Großteil der gemessenen Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lag. Im Mittel erreichten 82% der Wachphasen-Messwerte nicht die Bestimmungsgrenze und wurden durch die Hälfte der Bestimmungsgrenze ersetzt.

In Abbildung 27 wurde bereits ersichtlich, dass die Verteilung der Exposition am Nachmittag höher lag als am Vormittag. Dies wird bei Betrachtung der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze in Abbildung 28 nochmals deutlich, da am Nachmittag der Anteil der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze kleiner war als am Vormittag.

Die jugendlichen Teilnehmer wiesen in allen betrachteten Zeitabschnitten einen geringeren Anteil an Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf als die Kinder. Auch diese Beobachtung stimmt mit den in Abbildung 27 dargestellten Verteilungen der Exposition von Kindern und Jugendlichen überein.



**Abbildung 28: Anteil der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (alle Einzel-
frequenzen $< 0,05$ V/m) in Prozent während der Wachphase und den
Tagesabschnitten Vormittag und Nachmittag**

In Tabelle 24 und Tabelle 25 ist ein Vergleich zwischen den Studienorten bezüglich der mittleren Gesamtexposition und des Anteils der Messwerte unter der Bestimmungsgrenze getrennt für Kinder und Jugendliche dargestellt.

Es zeigte sich bei den Kindern und bei den Jugendlichen, dass eine höhere mittlere Gesamtexposition mit zunehmender Größe des Studienorts assoziiert ist. Demnach wiesen die Teilnehmer aus München die höchste mittlere Gesamtexposition auf; diejenigen, die in Landsberg wohnten, wiesen die niedrigsten Werte auf. Entsprechend ist der Anteil der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze bei den größeren Studienorten umso kleiner.

Tabelle 24: Vergleich der mittleren Gesamtexposition während der Wachphase in den Studienorten

Wachexposition in % des ICNIRP- Grenzwerts	Gesamt	München	Augsburg	Rosenheim	Landsberg
<i>Kinder</i>	n=1484	n=580	n=294	n=301	n=309
Range	0,13 – 0,92	0,13 – 0,62	0,13 – 0,79	0,13 – 0,39	0,13 – 0,92
Quartile	0,15 0,17 0,20	0,16 0,19 0,23	0,15 0,17 0,20	0,15 0,16 0,18	0,14 0,14 0,15
Mittelwert (Standard abweichung)	0,18 (0,06)	0,21 (0,06)	0,18 (0,06)	0,17 (0,04)	0,15 (0,06)
<i>Jugendliche</i>	n=1508	n=610	n=309	n=297	n=292
Range	0,13 – 0,78	0,14 – 0,60	0,14 – 0,78	0,14 – 0,47	0,13 – 0,44
Quartile	0,15 0,17 0,21	0,17 0,20 0,24	0,16 0,18 0,21	0,15 0,17 0,19	0,14 0,15 0,17
Mittelwert (Standard abweichung)	0,19 (0,06)	0,21 (0,07)	0,19 (0,06)	0,18 (0,05)	0,16 (0,04)

Tabelle 25: Vergleich des Anteils der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze während der Wachphase in den Studienorten

% der Messwerte unter der Bestimmungsgrenze	Gesamt	München	Augsburg	Rosenheim	Landsberg
<i>Kinder</i>	n=1484	n=580	n=294	n=301	n=309
Range	6,5 – 99,9	8,9 – 99,6	17,2 – 98,4	6,5 – 99,6	27,5 – 99,9
Quartile	78,5 88,7 94,0	75,6 85,1 91,6	75,9 87,1 91,4	77,8 89,5 94,3	89,9 94,7 97,5
Mittelwert (Standardabweichung)	83,7 (14,8)	80,9 (15,1)	81,7 (14,0)	83,3 (16,1)	91,4 (10,1)
<i>Jugendliche</i>	n=1508	n=610	n=309	n=297	n=292
Range	9,5 – 99,8	9,5 – 99,1	28,1 – 99,6	14,2 – 99,3	23,5 – 99,8
Quartile	75,2 86,7 92,9	71,3 84,4 91,0	73,5 83,7 90,7	75,9 87,8 93,6	86,4 93,2 96,5
Mittelwert (Standardabweichung)	82,0 (15,4)	79,2 (16,5)	80,1 (14,0)	82,6 (15,2)	89,1 (11,7)

6.2.3. Selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition

Selbsteingeschätzte Exposition gegenüber Feldern des Mobilfunkbereichs durch Basisstationen

In Tabelle 26 ist die selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition durch Basisstationen dargestellt. Für die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen subjektiver Exposition und chronischen Beschwerden wurde die Entfernung der nächsten Basisstation zur Wohnung bzw. Schule erfragt. Die Angaben zur Entfernung von der Wohnung stammen aus dem Kurzfragebogen der Eltern und Jugendlichen; die Entfernung von der Schule wurde bei den Jugendlichen im Interview erhoben.

Laut eigener Einschätzung der Eltern und Jugendlichen war die nächste Basisstation bei 67% der Eltern und 65% der Jugendlichen weniger als 500 Meter von der Wohnung entfernt.

Die Frage nach der Entfernung der nächsten Basisstation zur Schule wurde nur den Jugendlichen gestellt. Bei dieser Frage konnte knapp die Hälfte der befragten Jugendlichen (47%) keine Angaben machen. Weitere 41% der Jugendlichen schätzten, dass die nächste Basisstation mehr als 500 Meter von der Schule entfernt war. Aufgrund des hohen Anteils der Jugendlichen, die die Entfernung der Schule zur nächsten Basisstation nicht einschätzen konnten, wird diese Variable nicht für Sensitivitätsanalysen verwendet.

Tabelle 26: Selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition durch Basisstationen – Angaben der Eltern der Kinder und der Jugendlichen aus dem Kurzfragebogen bzw. aus dem Interview

Variable	Eltern der Kinder (n=1484)		Jugendliche (n=1508)	
	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte
<i>Entfernung der Basisstation von der Wohnung</i>		74		83
< 500 m	946 (67,1)		922 (64,7)	
≥ 500 m	464 (32,9)		503 (35,3)	
<i>Entfernung der Basisstation von der Schule</i>				5
< 500 m	nicht erfragt		189 (12,5)	
≥ 500 m			611 (40,7)	
weiß nicht			703 (46,8)	

Selbsteingeschätzte Exposition gegenüber Feldern des Mobilfunkbereichs durch Eigentelefonate am Untersuchungstag

In Tabelle 27 ist die selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition durch Eigentelefonate am Untersuchungstag dargestellt. Für die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen subjektiver Exposition am Vormittag bzw. Nachmittag und akuten mittäglichen bzw. abendlichen Beschwerden wurden die Angaben der

Kinder und Jugendlichen aus dem Expositions- und Beschwerdentagebuch verwendet. Als Indikatoren für die subjektive Exposition galten dabei die Nutzungsdauern eines Mobiltelefons sowie eines DECT-Telefons während der letzten acht Stunden vor dem mittäglichen bzw. abendlichen Ausfüllen des Tagebuchs.

Der Großteil der Probanden (über 97% der Kinder und über 85% der Jugendlichen) telefonierte in beiden Tagesabschnitten höchstens fünf Minuten mit dem Mobiltelefon.

Die jugendlichen Teilnehmer nutzten am Untersuchungstag sowohl das Mobiltelefon als auch das DECT-Telefon länger als die Kinder.

Erwartungsgemäß war die Nutzungsdauer am Vormittag aufgrund des Schulbesuchs kürzer als nachmittags.

Tabelle 27: Selbsteingeschätzte Mobilfunkexposition durch Eigentelefonate am Untersuchungstag – Angaben der Kinder und der Jugendlichen aus dem Expositionstagebuch

Variable	Kinder (n=1484)		Jugendliche (n=1508)	
	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte
Vormittag				
<i>Dauer der Mobiltelefonate 8h vor mittäglichem Ausfüllen</i>		51		39
≤ 5 min	1403 (97,9)		1314 (89,5)	
> 5 min	30 (2,1)		155 (10,6)	
<i>Dauer der DECT-Telefonate 8h vor mittäglichem Ausfüllen</i>		46		41
≤ 5 min	1311 (91,2)		1148 (78,3)	
> 5 min	127 (8,8)		319 (21,8)	
Nachmittag				
<i>Dauer der Mobiltelefonate 8h vor abendlichem Ausfüllen</i>		34		21
≤ 5 min	1416 (97,7)		1275 (85,7)	
> 5 min	34 (2,3)		212 (14,3)	
<i>Dauer der DECT-Telefonate 8h vor abendlichem Ausfüllen</i>		24		21
≤ 5 min	1240 (84,9)		936 (63,0)	
> 5 min	220 (15,1)		551 (37,1)	

6.2.4. Prävalenz chronischer und akuter Beschwerden

Prävalenz chronischer Beschwerden

In Abbildung 29 ist die Prävalenz der chronischen Beschwerden getrennt für Kinder und Jugendliche angegeben. Die chronischen Beschwerden wurden im Interview erfragt und in die Kategorien „vorhanden“ und „nicht vorhanden“ zusammengefasst (vgl. Kapitel 5.7.1).

Die höchste Prävalenz bei den chronischen Beschwerden ist sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen bei „Müdigkeit“ zu verzeichnen (30% bzw. 51%), gefolgt von den Beschwerden „Gereiztheit“ (21% bzw. 32%) und „Einschlafprobleme“ (19%) bei den Kindern bzw. „Nervosität“ (24%) bei den Jugendlichen. Die Kinder wiesen eine höhere Prävalenz der chronischen Beschwerden „Angst“ und „Einschlafprobleme“ auf als die jugendlichen Teilnehmer. Bei den weiteren chronischen Beschwerden zeigte sich bei den Jugendlichen eine deutlich höhere Prävalenz.

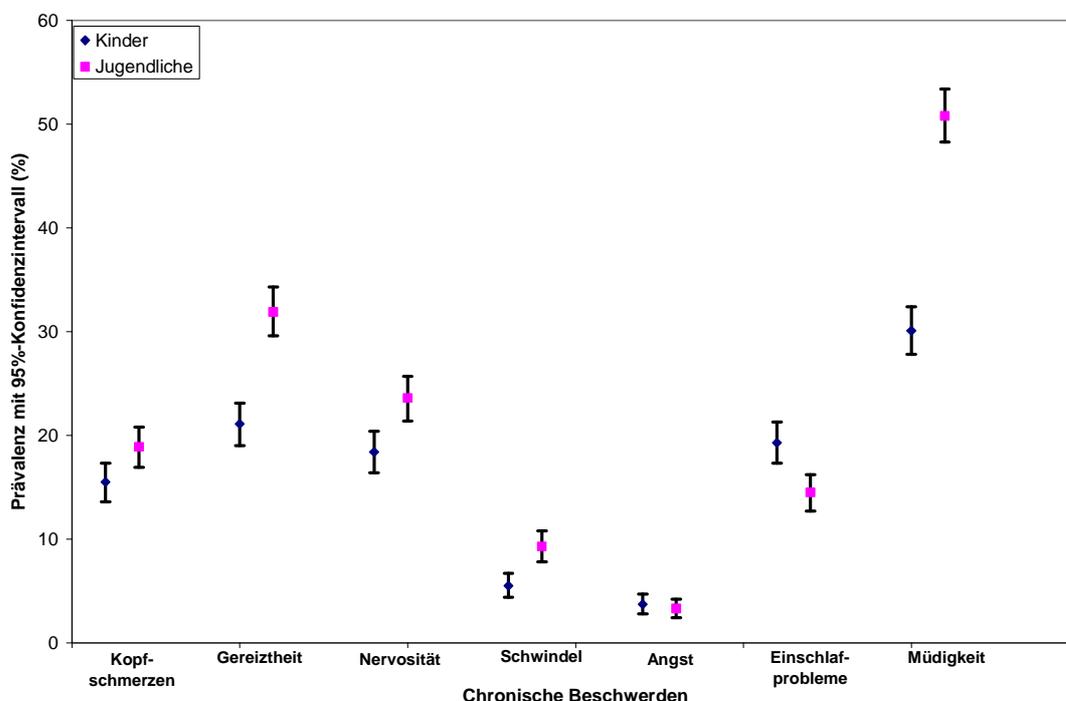


Abbildung 29: Prävalenz und 95%-Konfidenzintervall der chronischen Beschwerden in Prozent (Angaben aus dem Interview)

In Tabelle 28 ist die Prävalenz der chronischen Beschwerden in den einzelnen Studienorten getrennt für Kinder und Jugendliche angegeben.

Weder bei den Kindern noch bei den Jugendlichen war ein Zusammenhang zwischen der Größe des Studienorts und der Prävalenz von chronischen Beschwerden zu erkennen.

Tabelle 28: Vergleich der Prävalenz chronischer Beschwerden in den Studienorten

Chronische Beschwerden		Gesamt	München	Augsburg	Rosenheim	Landsberg
<i>Kinder</i>	n _{fehlende Werte}	n=1484	n=580	n=294	n=301	n=309
Kopfschmerzen	3	229 (15,5)	99 (17,1)	37 (12,6)	51 (16,9)	42 (13,6)
Gereiztheit	3	312 (21,1)	131 (22,7)	56 (19,1)	55 (18,3)	70 (22,7)
Nervosität	4	272 (18,4)	116 (20,1)	45 (15,4)	62 (20,6)	49 (15,9)
Schwindel	3	82 (5,5)	32 (5,5)	14 (4,8)	20 (6,6)	16 (5,2)
Angst	5	55 (3,7)	20 (3,5)	11 (3,8)	10 (3,3)	14 (4,5)
Einschlafprobleme	4	286 (19,3)	98 (17,0)	59 (20,2)	66 (21,9)	63 (20,4)
Müdigkeit ³	3	445 (30,1)	189 (32,7)	75 (25,6)	86 (28,6)	95 (30,7)
<i>Jugendliche</i>	n _{fehlende Werte}	n=1508	n=610	n=309	n=297	n=292
Kopfschmerzen	1	284 (18,9)	111 (18,2)	56 (18,1)	61 (20,5)	56 (19,2)
Gereiztheit	1	481 (31,9)	197 (32,4)	93 (30,1)	97 (32,7)	94 (32,2)
Nervosität	2	355 (23,6)	153 (25,2)	80 (25,9)	56 (18,9)	66 (22,6)
Schwindel	1	140 (9,3)	58 (9,5)	27 (8,7)	24 (8,1)	31 (10,6)
Angst	1	50 (3,3)	20 (3,3)	13 (4,2)	9 (3,0)	8 (2,7)
Einschlafprobleme	1	218 (14,5)	83 (13,6)	39 (12,6)	47 (15,8)	49 (16,8)
Müdigkeit	1	766 (50,8)	335 (55,0)	151 (48,9)	124 (41,8)	156 (53,4)

Prävalenz akuter Beschwerden

In Abbildung 30 ist die Prävalenz der akuten Beschwerden getrennt für Kinder und Jugendliche dargestellt. Die akuten Beschwerden wurden von den Probanden am Tag der Messung im Beschwerden-Tagebuch angegeben. Die akuten Beschwerden wurden ebenfalls in die Kategorien „vorhanden“ und „nicht vorhanden“ zusammengefasst (vgl. Kapitel 5.7.1).

Auch bei den akuten Beschwerden dominierte die „Müdigkeit“, erwartungsgemäß vor allem abends. Als nächst höchste Prävalenzen sowohl bei den Kindern als auch bei

den Jugendlichen waren bei den akuten Beschwerden „Konzentrationsprobleme“ und „Kopfschmerzen“ zu verzeichnen. Bei sämtlichen akuten Beschwerden außer der abendlichen Nervosität zeigte sich bei den Jugendlichen eine deutlich höhere Prävalenz als bei den Kindern.

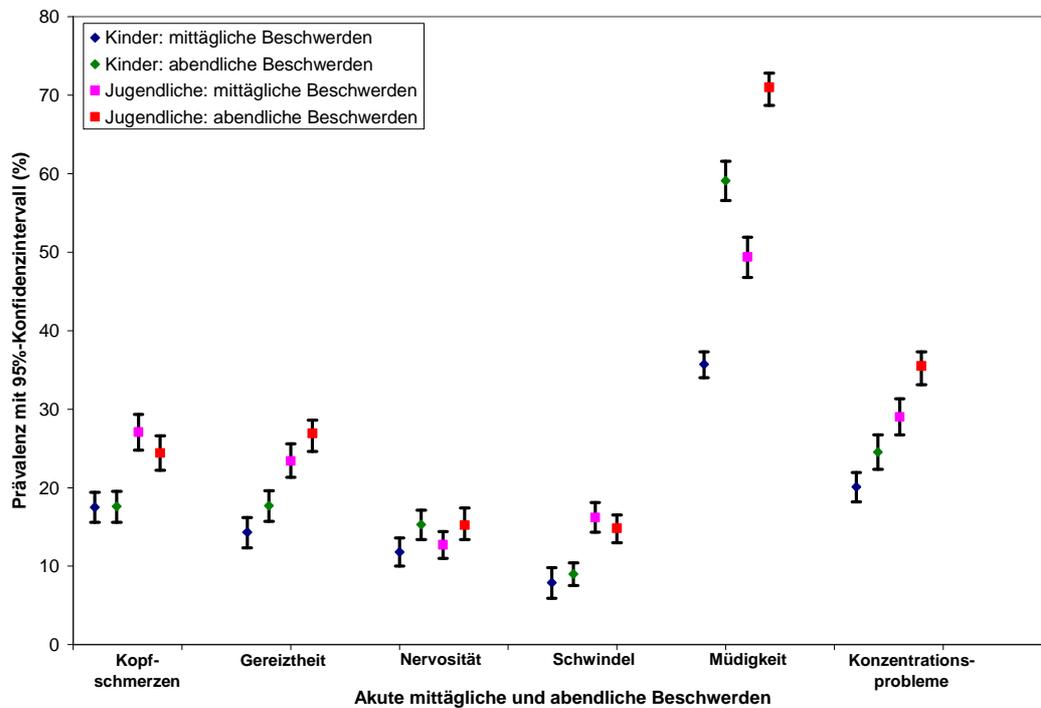


Abbildung 30: Prävalenz und 95%-Konfidenzintervall der akuten mittäglichen und abendlichen Beschwerden in Prozent (Angaben aus dem Beschwerden-Tagebuch)

In Tabelle 29 ist die Prävalenz der akuten Beschwerden in den einzelnen Studienorten getrennt für Kinder und Jugendliche dargestellt.

Die Prävalenz von akuten Beschwerden bei den jugendlichen Teilnehmern war in Augsburg am höchsten. Eine Ausnahme bildeten lediglich die mittäglichen Kopfschmerzen, die in Landsberg am häufigsten berichtet wurden.

Tabelle 29: Vergleich der Prävalenz akuter Beschwerden in den Studienorten

Akute Beschwerden		Gesamt	München	Augsburg	Rosenheim	Landsberg
<i>Kinder</i>	n _{fehlende Werte}	n=1484	n=580	n=294	n=301	n=309
Kopfschmerzen mittags	15	257 (17,5)	113 (19,8)	50 (17,1)	45 (15,1)	49 (15,9)
Kopfschmerzen abends	9	259 (17,6)	118 (20,5)	47 (16,1)	39 (13,0)	55 (17,8)
Gereiztheit mittags	14	210 (14,3)	88 (15,4)	37 (12,7)	47 (15,7)	38 (12,3)
Gereiztheit abends	11	260 (17,7)	109 (19,0)	49 (16,8)	56 (18,7)	46 (14,9)
Nervosität mittags	16	173 (11,8)	62 (10,9)	40 (13,8)	40 (13,4)	31 (10,1)
Nervosität abends	10	225 (15,3)	72 (12,5)	47 (16,1)	67 (22,3)	39 (12,7)
Schwindel mittags	14	116 (7,9)	51 (8,9)	22 (7,6)	24 (8,0)	19 (6,2)
Schwindel abends	11	132 (9,0)	59 (10,3)	21 (7,2)	23 (7,7)	29 (9,4)
Müdigkeit mittags	17	523 (35,7)	229 (40,2)	87 (29,8)	99 (33,1)	108 (35,3)
Müdigkeit abends	15	868 (59,1)	348 (61,1)	185 (63,4)	159 (53,0)	176 (57,3)
Konzentrationsprobleme mittags	15	295 (20,1)	122 (21,4)	62 (21,2)	66 (22,2)	45 (14,6)
Konzentrationsprobleme abends	12	361 (24,5)	139 (24,3)	78 (26,7)	74 (24,7)	70 (22,8)
<i>Jugendliche</i>	n _{fehlende Werte}	n=1508	n=610	n=309	n=297	n=292
Kopfschmerzen mittags	27	401 (27,1)	150 (25,2)	84 (27,7)	82 (28,2)	85 (29,1)
Kopfschmerzen abends	17	364 (24,4)	145 (24,2)	84 (27,5)	59 (20,1)	76 (26,0)
Gereiztheit mittags	31	346 (23,4)	127 (21,4)	86 (28,5)	68 (23,4)	65 (22,3)
Gereiztheit abends	16	401 (26,9)	150 (25,0)	97 (31,7)	83 (28,3)	71 (24,3)
Nervosität mittags	28	188 (12,7)	81 (13,6)	43 (14,2)	32 (11,0)	32 (11,0)
Nervosität abends	20	226 (15,2)	87 (14,6)	56 (18,4)	39 (13,3)	44 (15,1)
Schwindel mittags	27	240 (16,2)	102 (17,1)	55 (18,1)	41 (14,1)	42 (14,4)
Schwindel abends	20	220 (14,8)	95 (15,9)	51 (16,7)	37 (12,7)	37 (12,7)
Müdigkeit mittags	30	730 (49,4)	307 (51,9)	167 (55,1)	128 (44,0)	128 (43,8)
Müdigkeit abends	17	1058 (71,0)	418 (69,7)	231 (75,5)	189 (64,5)	220 (75,3)
Konzentrationsprobleme mittags	29	429 (29,0)	180 (30,3)	97 (32,0)	78 (26,8)	74 (25,4)
Konzentrationsprobleme abends	23	527 (35,5)	212 (35,6)	121 (39,7)	92 (31,4)	102 (35,1)

6.2.5. Umwelt- und Mobilfunkbesorgnis

Die folgende Tabelle 30 stellt die Angaben der Probanden zur Umweltbesorgnis im Allgemeinen sowie zur Mobilfunkbesorgnis im Speziellen dar.

Die allgemeine Umweltbesorgnis war bei den Eltern stärker ausgeprägt als bei den Jugendlichen. Mit 12% schätzte sich ein hoher Prozentsatz der Eltern als elektrosensibel ein⁸.

Bezogen auf die Besorgnis gegenüber elektromagnetischen Feldern fällt auf, dass mehr als die Hälfte der Eltern besorgt war, wohingegen die meisten Jugendlichen angaben, sich weder Sorgen zu machen noch gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Grund elektromagnetischer Felder zu spüren. Zudem zeigten sich die Eltern auch stärker besorgt über elektromagnetische Felder als die Jugendlichen. So gaben über die Hälfte der befragten Eltern an, dass sie „ziemlich“ oder „stark“ besorgt seien, bei den Jugendlichen hingegen gaben über 75% an, dass sie sich gar keine Sorgen oder wenig Sorgen machen.

Bei der Frage welcher Quelle die Besorgnis galt, gaben 38% der Eltern an, dass sie sich Sorgen sowohl hinsichtlich der Exposition gegenüber Mobilfunkbasisstationen, Mobiltelefonen als auch DECT-Telefonen machten. Bezogen auf die einzelnen Quellen zeigten sich ebenfalls Unterschiede zwischen den Eltern und Jugendlichen. So gaben bei den Eltern die meisten die Basisstation gefolgt vom Mobiltelefon als Quelle der Besorgnis an (10% bzw. 8%); bei den Jugendlichen war dies umgekehrt (Mobiltelefon: 16%, Basisstation: 6%).

⁸ Die Frage im Interview lautete: „Würden Sie sich selbst als elektrosensibel bezeichnen?“

Tabelle 30: Umwelt- und Mobilfunkbesorgnis – Angaben der Eltern der Kinder und der Jugendlichen aus dem Interview

Variable	Eltern der Kinder (n=1484)		Jugendliche (n=1508)	
	Quartile	Fehlende Werte	Quartile	Fehlende Werte
<i>Umweltbesorgnis</i>		5		7
Wertebereich: 12 – 48	31, 35, 39		26, 30, 33	
	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte	Häufigkeit (%)	Fehlende Werte
<i>Elektrosensibilität (selbst beurteilt)</i>	162 (12,1)	150	nicht erfragt	
<i>Besorgnis über elektromagnetische Felder</i>		7		11
weder besorgt noch beeinträchtigt	418 (28,3)		868 (58,0)	
nur besorgt	845 (57,2)		498 (33,3)	
nur beeinträchtigt	31 (2,1)		39 (2,6)	
sowohl besorgt als auch beeinträchtigt	183 (12,4)		92 (6,2)	
<i>Stärke der Beeinträchtigung</i>		10		14
gar nicht*	1263 (85,7)		1366 (91,4)	
wenig	49 (3,3)		68 (4,6)	
ziemlich	113 (7,7)		48 (3,2)	
stark	49 (3,3)		12 (0,8)	
<i>Stärke der Besorgnis über elektromagnetische Felder</i>		13		15
gar nicht**	418 (28,4)		868 (58,1)	
wenig	265 (18,0)		267 (17,9)	
ziemlich	589 (40,0)		319 (21,4)	
stark	199 (13,5)		39 (2,6)	
<i>Sorge gilt folgenden Quellen</i>		7		17
keinen Quellen**	418 (28,3)		868 (58,2)	
Basisstation	154 (10,4)		90 (6,0)	
Mobiltelefon	113 (7,7)		235 (15,8)	
DECT	53 (3,6)		29 (2,0)	
Basisstation & DECT	44 (3,0)		10 (0,7)	
Basisstation & Mobiltelefon	104 (7,0)		91 (6,1)	
DECT & Mobiltelefon	36 (2,4)		43 (2,9)	
allen drei Quellen	555 (37,6)		125 (8,4)	

* Diese Ausprägung wurde allen Probanden zugewiesen, die zuvor entweder angegeben hatten „weder besorgt noch beeinträchtigt“ oder „nur besorgt“ bzgl. elektromagnetischer Felder zu sein

** Diese Ausprägung wurde allen Probanden zugewiesen, die zuvor angegeben hatten „weder besorgt noch beeinträchtigt“ bzgl. elektromagnetischer Felder zu sein

6.2.6. Ergebnis der 5-Tages-Messungen zur Überprüfung der Repräsentativität der bei der 24h-Messung erhobenen Exposition

Es nahmen 54 Probanden an den 5-Tages-Messungen teil. Da die Akkuleistung nicht bei allen verwendeten Dosimetern für eine fünftägige Messung ausreichte, sind 21 dieser Messungen unvollständig. Für die Auswertung wurde jeweils die Zeit von 16 Uhr bis 16 Uhr des Folgetages als ein Tag zusammengefasst. Auch hier wurde nur die Wachexposition berücksichtigt.

Abbildung 31 zeigt getrennt für die verschiedenen Wochentage die Verteilung der Exposition gegenüber Feldern des Mobilfunks während der Wachzeit (dargestellt als mittlerer prozentualer Anteil am ICNIRP-Grenzwert). Die Streuung der Exposition war an den Tagen Mittwoch/Donnerstag sowie Donnerstag/Freitag am größten, Dienstag/Mittwoch ist sie am geringsten. Bei Betrachtung der Verteilungs-Mediane (dargestellt durch die horizontale Linie in der Box) sind keine auffallenden Unterschiede zu erkennen.

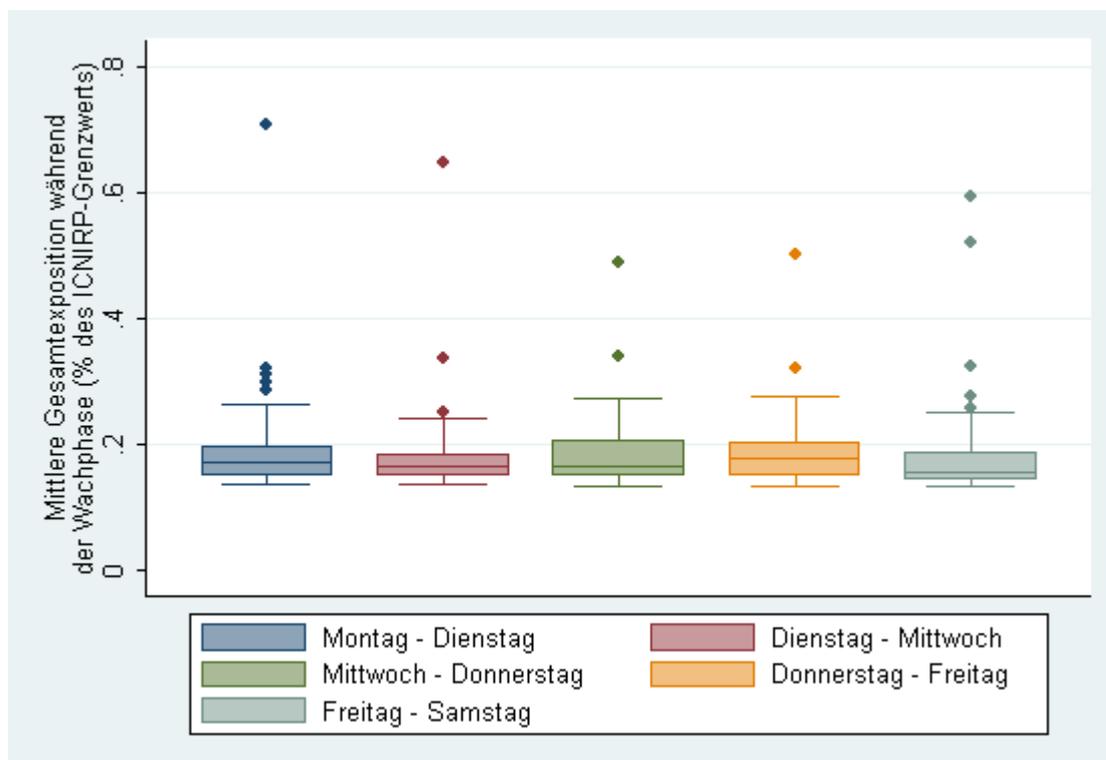


Abbildung 31: Mittlere Gesamtexposition während der Wachphase an den verschiedenen Wochentagen in Prozent des ICNIRP-Grenzwerts

In Tabelle 31 ist die relative Häufigkeit, mit der Probanden an zwei verschiedenen Wochentagen eine Exposition im selben Quartil bzw. eine Exposition in benachbarten Quartilen aufwiesen, dargestellt.

Zwischen 20% und 57% der Teilnehmer wiesen an zwei verschiedenen Wochentagen eine Exposition im selben Quartil auf. Dabei ergab sich die geringste Übereinstimmung zwischen den Wochentagen Dienstag/Mittwoch und Freitag/Samstag; die höchste Übereinstimmung war zwischen den Tagen Montag/Dienstag und Dienstag/Mittwoch zu beobachten.

Zudem wurde überprüft, wie häufig die Exposition an verschiedenen Wochentagen entweder ins selbe Quartil fiel oder sich maximal um eine Quartilskategorie unterschied. Hierbei zeigte sich, dass zwischen 61% und 85% der Probanden an zwei verschiedenen Tagen eine Exposition im selben oder einem benachbarten Quartil aufwiesen. Die geringste Übereinstimmung konnte hier zwischen den Wochentagen Donnerstag/Freitag und Freitag/Samstag beobachtet werden, die höchste Übereinstimmung zwischen Montag/Dienstag und Dienstag/Mittwoch sowie Montag/Dienstag und Donnerstag/Freitag.

Es ist somit davon auszugehen, dass die Expositionserfassung an nur einem dieser Tage nicht immer repräsentativ für die Probanden war. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere die Wochentage Montag bis Freitag nur gering voneinander abweichen, während die Exposition sich am Wochenende stärker von den übrigen Wochentagen unterscheiden könnte. Insgesamt wurden 12,5% der Messungen an einem Freitag begonnen. Für die unter der Woche durchgeführten Messungen (Beginn der Messung Montag bis Donnerstag) ist hingegen von einer geringen nicht-differentiellen Missklassifikation auszugehen, die primär zu einer Unterschätzung des Risikos für die chronischen Beschwerden geführt haben kann, da sie hauptsächlich zu einer Änderung um ein Quartil führte.

Tabelle 31: Paarweise Übereinstimmung der Expositionsquartile an verschiedenen Wochentagen

Wochentage im paarweisen Vergleich	Relative Häufigkeit der vollständigen Übereinstimmung der Expositionsquartile (%)	Relative Häufigkeit der Abweichung der Expositionsquartile um höchstens eine Kategorie (%)
Montag/Dienstag und Dienstag/Mittwoch	57	85
Montag/Dienstag und Mittwoch/Donnerstag	46	83
Montag/Dienstag und Donnerstag/Freitag	41	85
Montag/Dienstag und Freitag/Samstag	30	74
Dienstag/Mittwoch und Mittwoch/Donnerstag	37	81
Dienstag/Mittwoch und Donnerstag/Freitag	44	83
Dienstag/Mittwoch und Freitag/Samstag	20	67
Mittwoch/Donnerstag und Donnerstag/Freitag	50	81
Mittwoch/Donnerstag und Freitag/Samstag	35	72
Donnerstag/Freitag und Freitag/Samstag	31	61

Die mit n=54 Teilnehmern kleine Fallzahl muss bei Interpretation der hier dargestellten Ergebnisse berücksichtigt werden. Um die Feldphase in den Studienorten im zeitlichen Rahmen abschließen zu können, sowie aus finanziellen Gründen, war es nicht möglich, weitere 5-Tages-Messung durchzuführen.

6.3. Darstellung der bivariaten Ergebnisse

6.3.1. Assoziation zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und selbstberichteten Beschwerden

Assoziation zwischen Wachexposition und chronischen Beschwerden

In diesem Abschnitt wird der paarweise Zusammenhang zwischen der Wachexposition und den untersuchten chronischen Beschwerden betrachtet. Die Ergebnisse für die Zielgrößen „Müdigkeit“ und „Gereiztheit“ sind mit den dazugehörigen Signifikanzniveaus in Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt.

Die Ergebnisse für die restlichen Zielgrößen finden sich in im Abschnitt „Bivariate Ergebnisse“ im Anhang.

Chronische Müdigkeit

Es zeigte sich, dass sowohl die Kinder als auch die jugendlichen Teilnehmer bei einer Wachexposition im höchsten Quartil eine höhere Prävalenz der chronischen Müdigkeit aufwiesen.

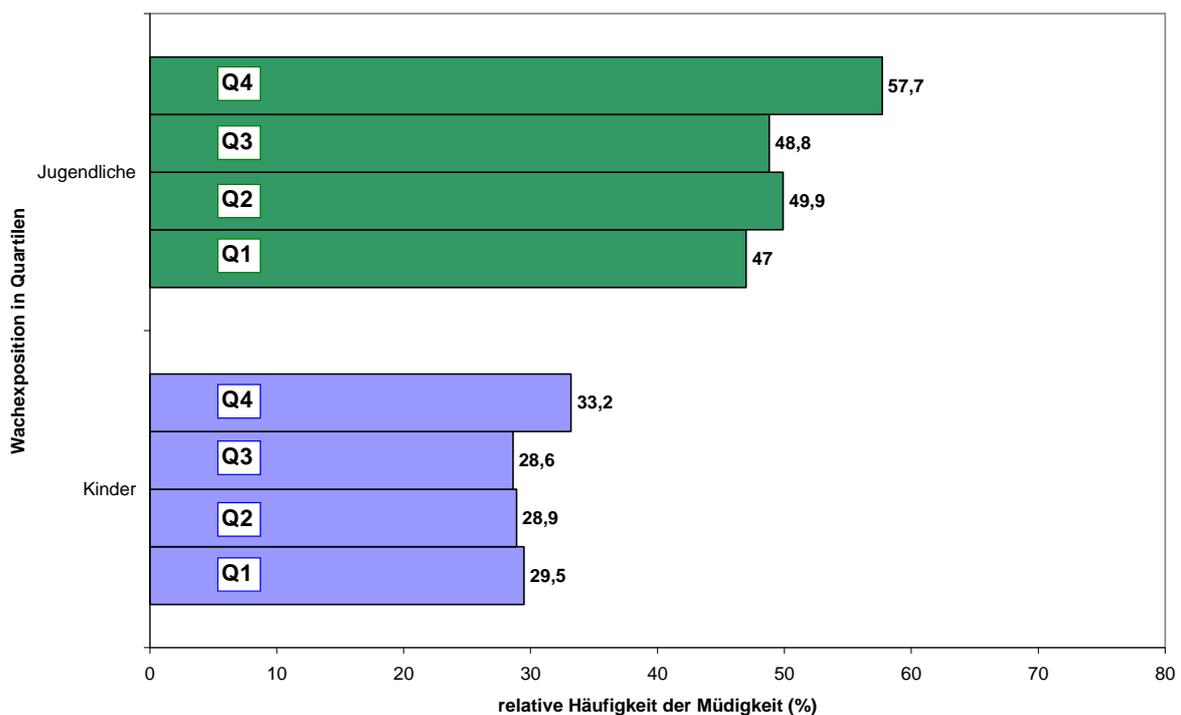


Abbildung 32: Relative Häufigkeit chronischer Müdigkeit in Abhängigkeit von der Wachexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

Chronische Gereiztheit

Auch bei der Zielgröße „chronische Gereiztheit“ wiesen in der Gruppe der Jugendlichen diejenigen mit einer Wachexposition im höchsten Quartil eine höhere Prävalenz auf als die Jugendlichen mit einer Wachexposition in den drei übrigen Quartilen. In der Gruppe der Kinder war die Prävalenz in den Expositionsgruppen annähernd gleich verteilt.

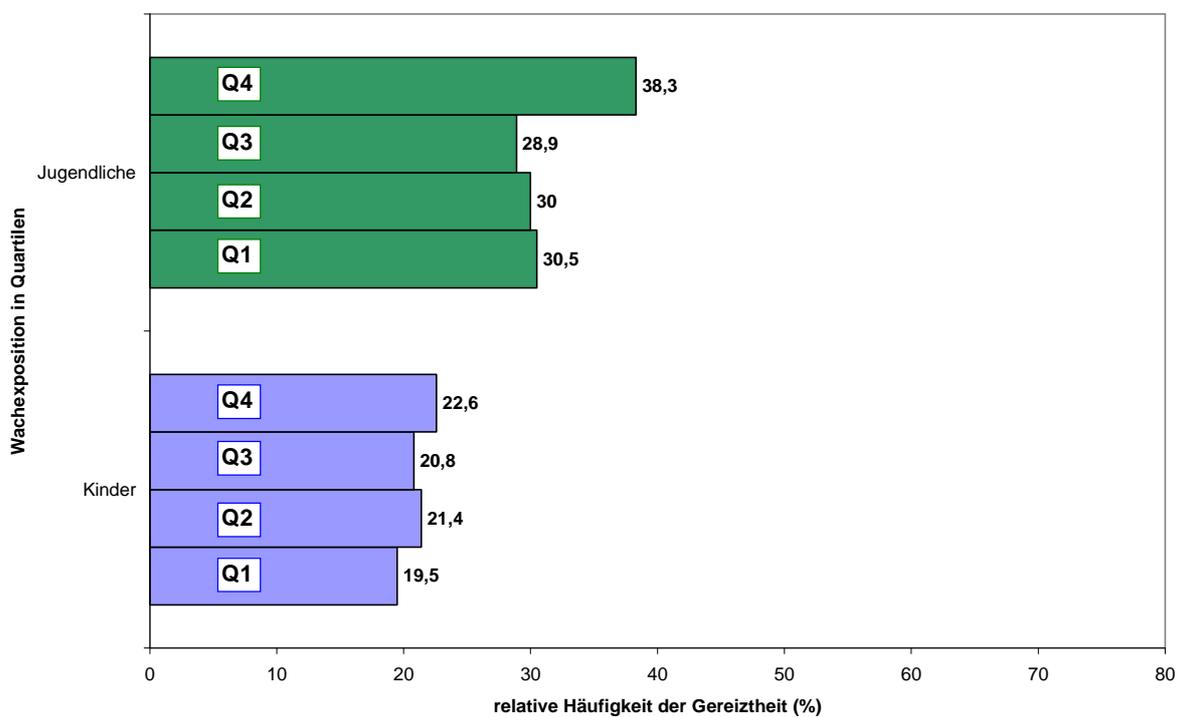


Abbildung 33: Relative Häufigkeit chronischer Gereiztheit in Abhängigkeit von der Wachexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

Bei den anderen betrachteten chronischen Beschwerden (Kopfschmerzen, Nervosität, Schwindel, Angst, Einschlafprobleme) zeigte sich weder bei den Kindern noch bei den Jugendlichen ein Unterschied der Prävalenzen in den Expositionsgruppen (vgl. dazu die Tabellen 3 bis 4 im Anhang).

Assoziation zwischen Vormittags- bzw. Nachmittagsexposition und akuten mittäglichen bzw. abendlichen Beschwerden

In diesem Abschnitt wird der paarweise Zusammenhang zwischen der Vormittags- bzw. Nachmittagsexposition und den untersuchten akuten mittäglichen bzw. akuten abendlichen Beschwerden betrachtet. Die Ergebnisse für die Zielgrößen Kopfschmerzen, Gereiztheit, Nervosität und Müdigkeit sind mit den dazugehörigen Signifikanzniveaus in den Abbildung 34-41 dargestellt.

Die Ergebnisse für die restlichen Zielgrößen finden sich in den Tabellen 5 und 6 im Anhang.

Akute Kopfschmerzen

In der Gruppe der Kinder zeigte sich eine geringere Prävalenz akuter mittäglicher Kopfschmerzen bei einer Vormittagsexposition im zweiten Quartil. Diese Tendenz konnte bei Betrachtung der Nachmittagsexposition und abendlichen Kopfschmerzen bei Kindern nicht beobachtet werden (Abbildung 35).

Bei den jugendlichen Teilnehmern wiesen Jugendliche mit einer Vormittagsexposition im höchsten Quartil tendenziell eine etwas höhere Prävalenz der mittäglichen Kopfschmerzen auf. Am Abend zeigten sich dagegen bei Jugendlichen mit einer Nachmittagsexposition im zweiten und vierten Quartil die höchsten Prävalenzen von Kopfschmerzen.

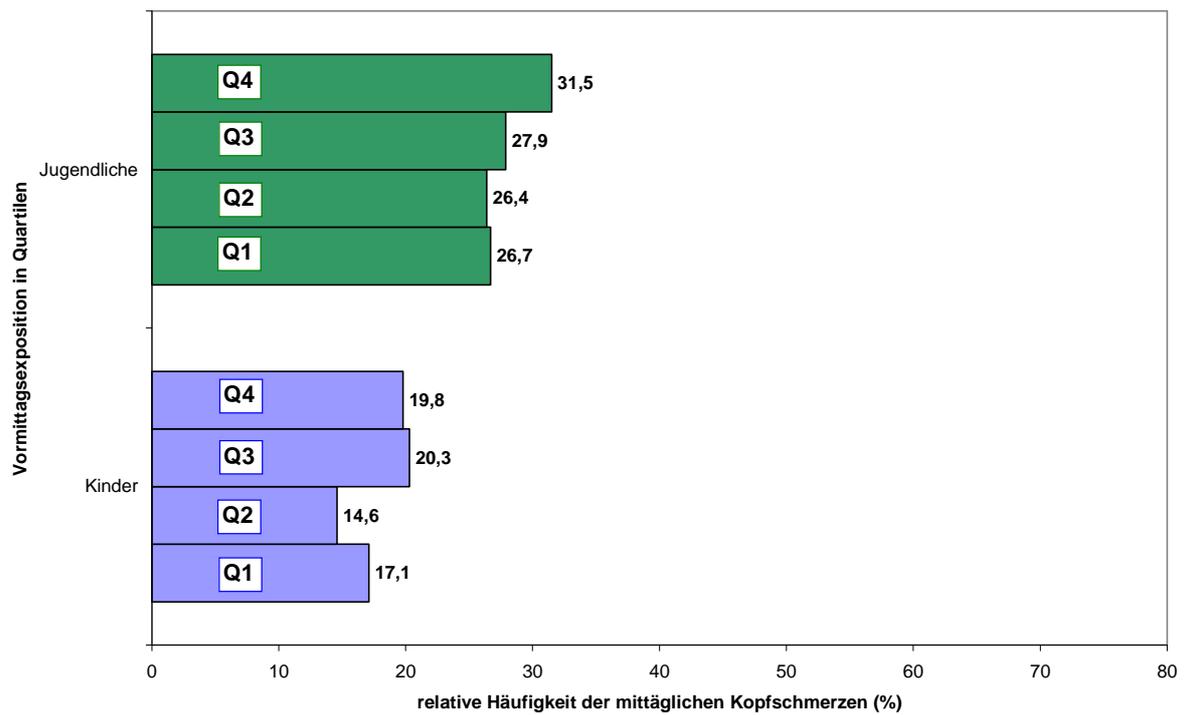


Abbildung 34: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Kopfschmerzen in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

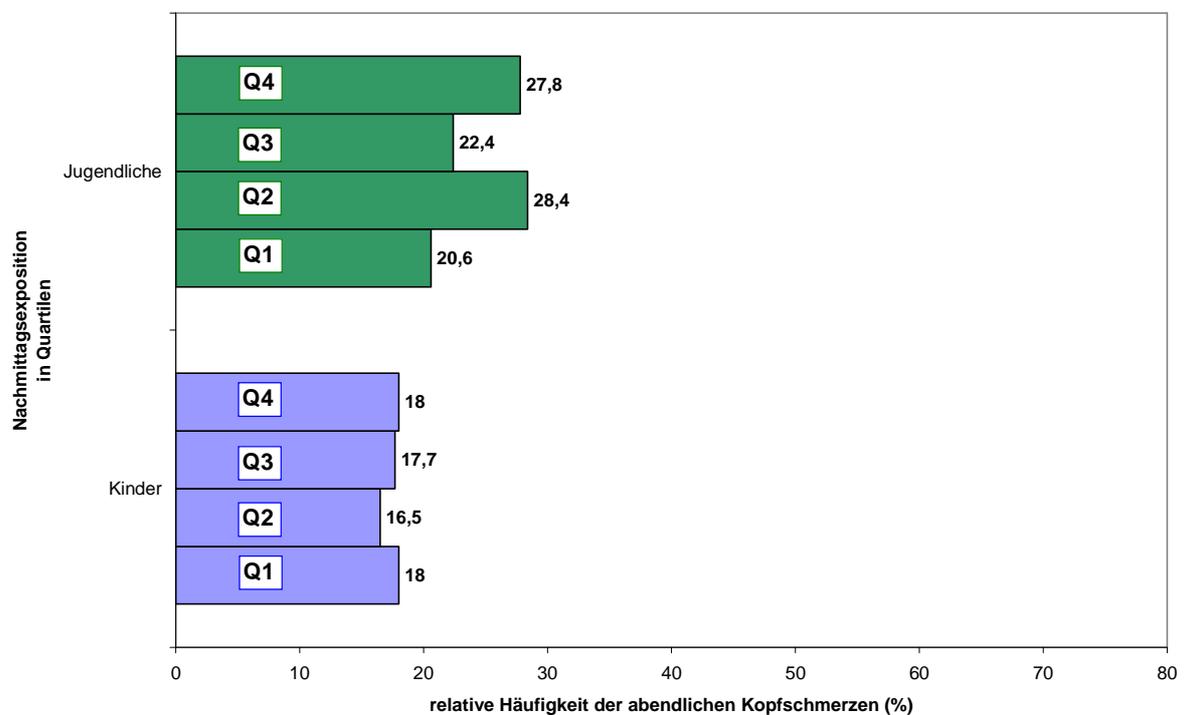


Abbildung 35: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Kopfschmerzen in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

Akute Gereiztheit

In der Gruppe der Kinder war die Prävalenz von mittäglicher Gereiztheit in den vier Expositionsgruppen annähernd gleich verteilt (Abbildung 36). Bei Betrachtung der abendlichen Gereiztheit war bei einer höheren Nachmittagsexposition tendenziell eine höhere Prävalenz der abendlichen Gereiztheit zu beobachten.

Die jugendlichen Teilnehmer waren tendenziell bei einer Vormittagsexposition im höchsten Quartil mittags am häufigsten gereizt. Abends zeigte sich auch in der Gruppe der Jugendlichen eine höhere Prävalenz der Gereiztheit bei einer höheren Nachmittagsexposition (Abbildung 37).

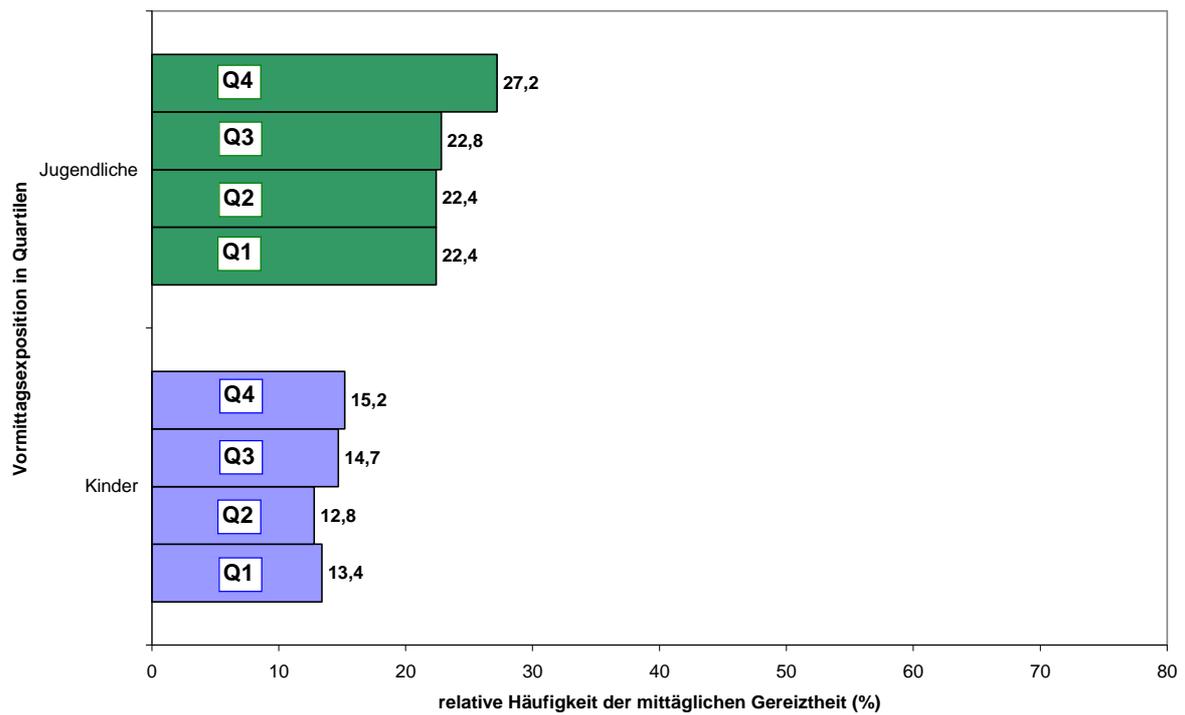


Abbildung 36: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Gereiztheit in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

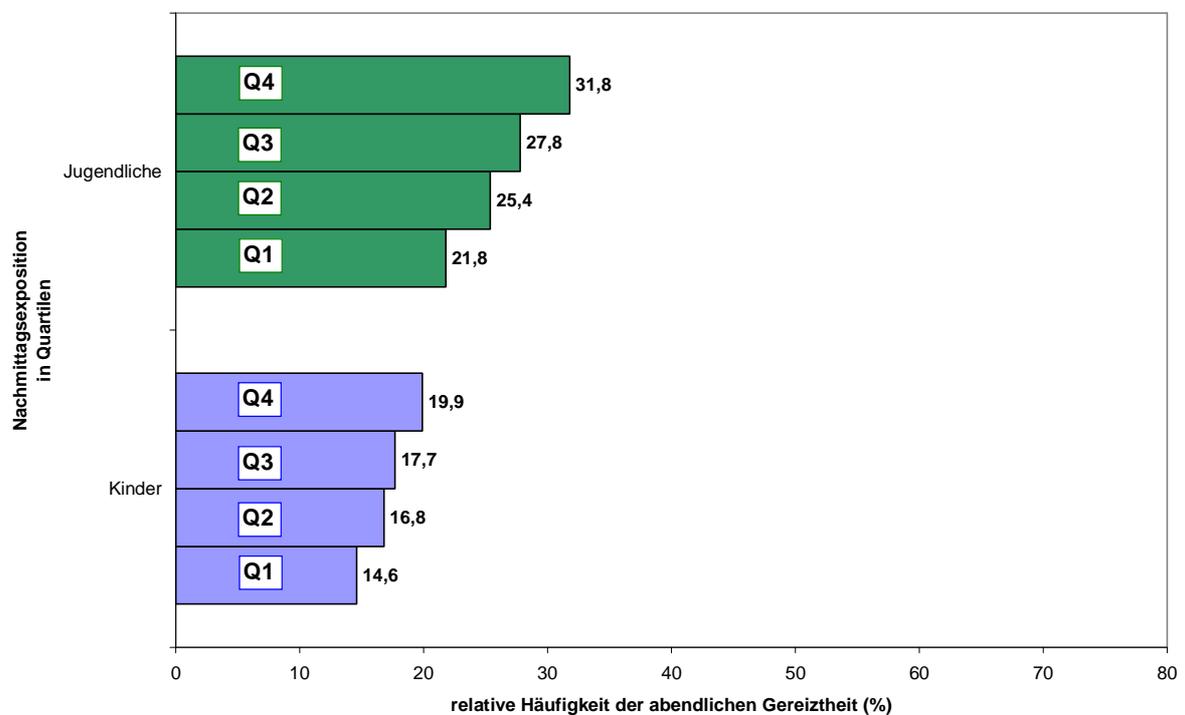


Abbildung 37: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Gereiztheit in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

Akute Nervosität

Bei Betrachtung der mittäglichen Nervosität wiesen die Kinder mit einer Vormittagsexposition im zweiten Quartil eine höhere Prävalenz auf (Abbildung 38) als die Kinder in den drei übrigen Expositionsquartilen. Am Abend konnte zeigte sich dieser Trend allerdings nicht (Abbildung 39).

In der Gruppe der jugendlichen Teilnehmer warä die Prävalenz der Nervosität sowohl mittags als auch abends in den vier Expositionsgruppen annähernd gleich verteilt. (Abbildung 38 und Abbildung 39).

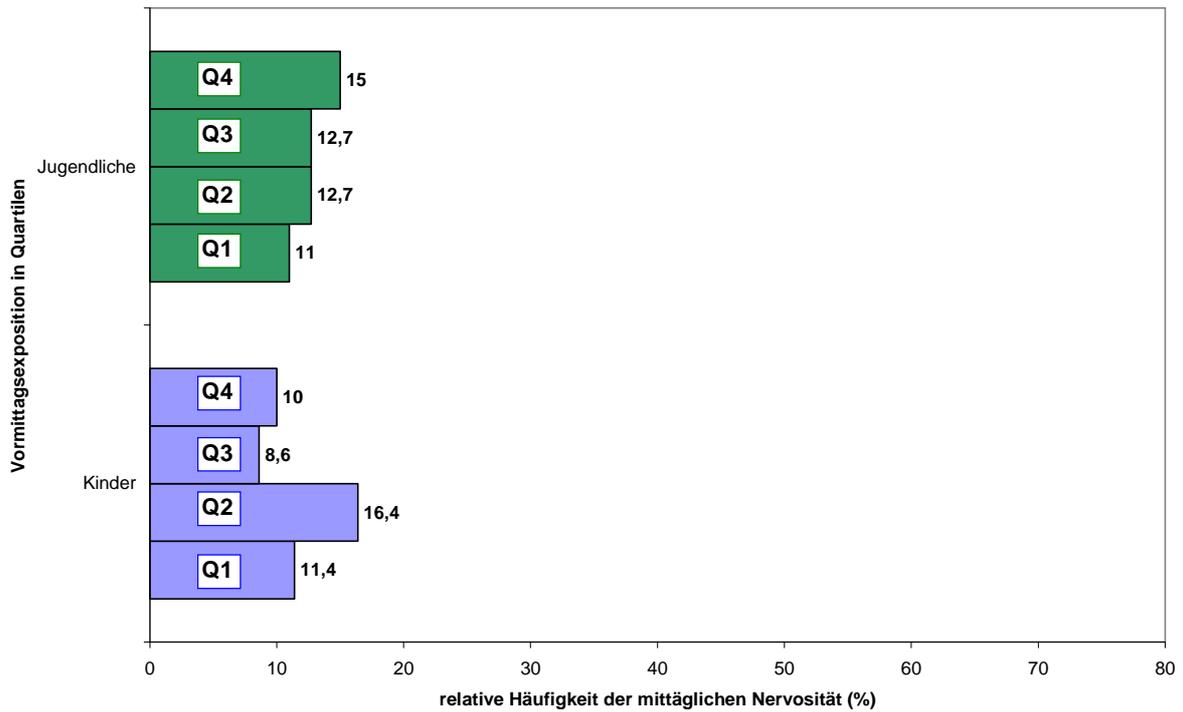


Abbildung 38: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Nervosität in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

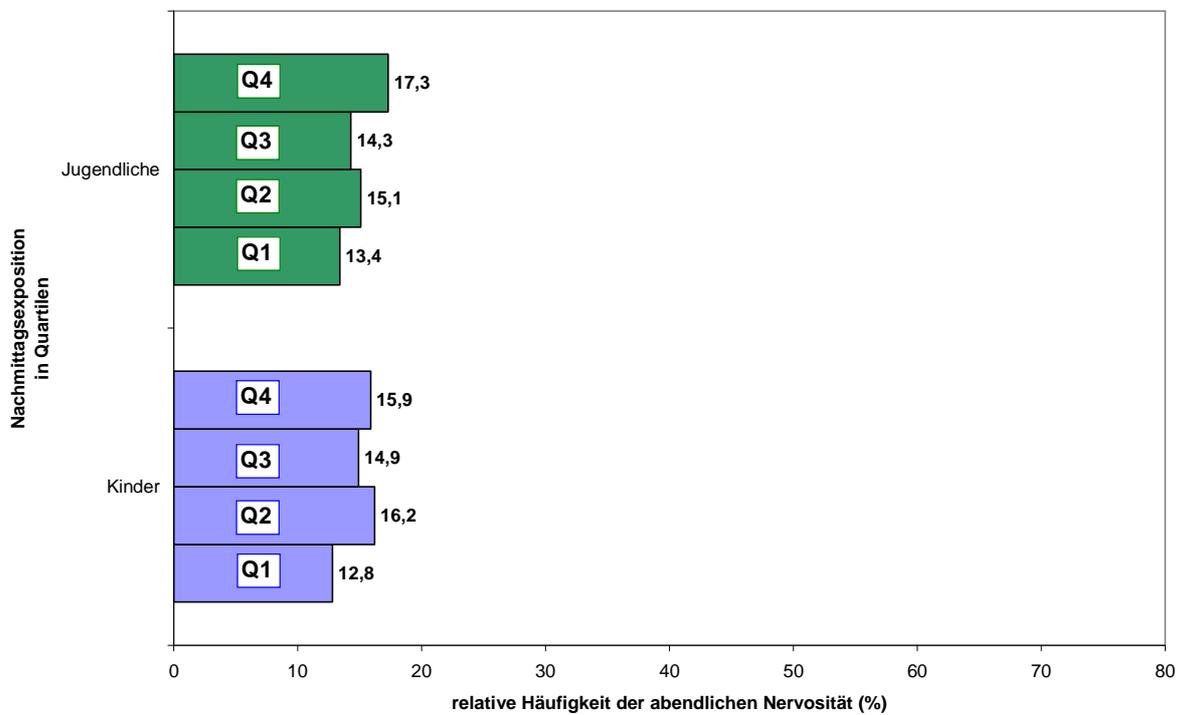


Abbildung 39: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Nervosität in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

Akute Müdigkeit

Sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen war bei einer Vormittagsexposition im höchsten Quartil die höchste Prävalenz der mittäglichen Müdigkeit zu beobachten (Abbildung 40).

Dagegen war in beiden Gruppen die Prävalenz der akuten abendlichen Müdigkeit in den Expositionsgruppen annähernd gleich verteilt (Abbildung 41).

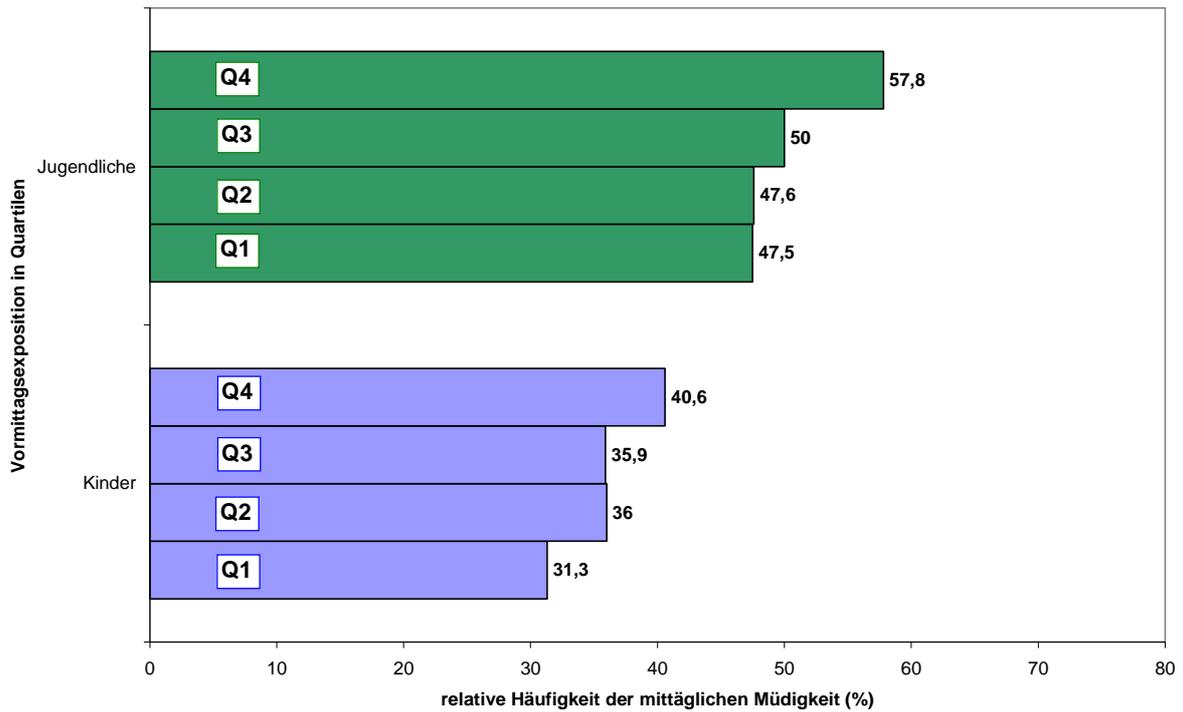


Abbildung 40: Relative Häufigkeit akuter mittäglicher Müdigkeit in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

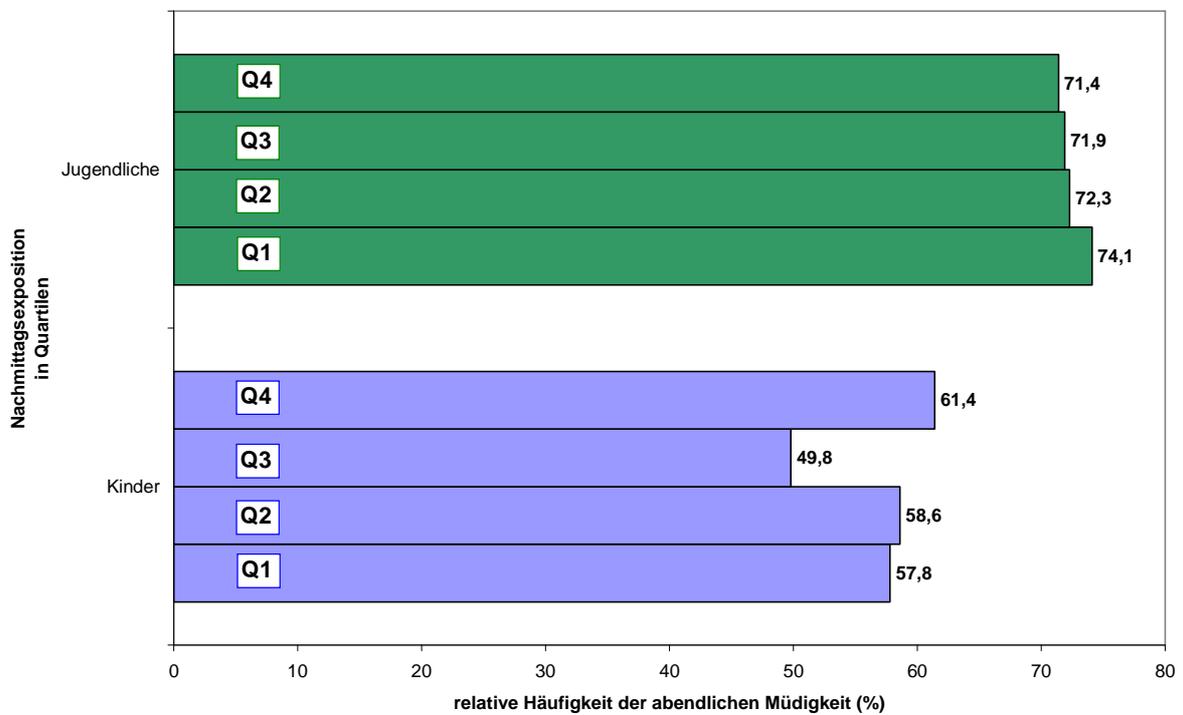


Abbildung 41: Relative Häufigkeit akuter abendlicher Müdigkeit in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber Mobilfunkfeldern in Quartilen

Bei den sonstigen betrachteten akuten Beschwerden „Schwindel“ und „Konzentrationsprobleme“ waren sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen die Prävalenzen am Mittag und am Abend in den vier Expositionsgruppen annähernd gleich verteilt (vgl. dazu die Tabellen 5 und 6 im Anhang).

6.3.2. Assoziation zwischen a-priori definierten Confoundern und chronischer Müdigkeit

In Tabelle 32 und Tabelle 33 ist getrennt für Kinder und Jugendliche die Prävalenz der Hauptzielgröße „chronische Müdigkeit“ in Abhängigkeit von den Ausprägungen der a-priori definierten Confounder dargestellt.

Kinder im Alter von elf und zwölf Jahren waren signifikant häufiger chronisch müde als die Acht- bis Zehnjährigen ($p < 0,0001$) (Tabelle 32). Dabei gaben die Mädchen im Vergleich zu den Jungen tendenziell weniger häufig an, müde zu sein.

Kinder, die täglich oder fast täglich Telefonate mit Mobiltelefon oder DECT führten, wiesen eine höhere Prävalenz der chronischen Müdigkeit auf (jeweils $p = 0,03$). Dagegen zeigten sich bei den Variablen „Entfernung der nächsten Basisstation von der Wohnung“ und „Studienort“ keine Unterschiede in der Prävalenz der Müdigkeit. Auch zwischen der Bildung sowie der Umweltbesorgnis der Eltern und der Müdigkeit bei den Kindern konnte in keiner Expositionsgruppe ein signifikant höheres Risiko als beobachtet werden als in den Referenzkategorien.

Tabelle 32: Prävalenz der chronischen Müdigkeit in Abhängigkeit von der Ausprägung der a-priori definierten Confounder (Kinder)

Kinder			
Variable	Ausprägung	Prävalenz der chronischen Müdigkeit (%)	p-Wert
Alter	8-10 Jahre	25,3	<0,0001
	11-12 Jahre	35,5	
Geschlecht	Jungen	32,3	0,06
	Mädchen	27,9	
Bildung	anderer Abschluss	27,4	0,12
	mind. Fachabitur	31,3	
Umweltbesorgnis	niedrig (\leq Median)	30,6	0,69
	hoch ($>$ Median)	29,6	
Häufigkeit Mobiltelefonate	seltener	29,5	0,03
	mind. fast täglich	42,6	
Häufigkeit DECT-Telefonate	seltener	28,4	0,03
	mind. fast täglich	34,1	
Entfernung Basisstation von Wohnung	< 500 m	30,0	0,83
	\geq 500 m	30,5	
Studienort	München	32,7	0,17
	Augsburg	25,6	
	Rosenheim	28,6	
	Landsberg	30,7	

Auch bei den jugendlichen Teilnehmern stieg die Prävalenz chronischer Müdigkeit mit dem Alter an ($p < 0,0001$) (Tabelle 33). Im Gegensatz zur Gruppe der Kinder berichteten bei den Jugendlichen die Mädchen häufiger über Müdigkeit ($p = 0,05$).

Gymnasiasten und Jugendliche, die eine hohe Umweltbesorgnis angaben, waren signifikant häufiger müde ($p = 0,02$ bzw. $p < 0,0001$). Vergleichbar zu den Kindern wiesen die Jugendlichen, die täglich oder fast täglich mit Mobiltelefon bzw. DECT telefonierten, eine signifikant höhere Prävalenz der chronischen Müdigkeit auf. Jugendliche, die in weniger als 500 Meter Entfernung von einer Basisstation wohnten, berichteten tendenziell etwas häufiger über chronische Müdigkeit. Bei Betrachtung der Studienorte war zu erkennen, dass die jugendlichen Teilnehmer in München die höchste Prävalenz der Müdigkeit aufwiesen, gefolgt von Landsberg. In Rosenheim berichteten die Jugendlichen am seltensten über Müdigkeit.

Tabelle 33: Prävalenz der chronischen Müdigkeit in Abhängigkeit von der Ausprägung der a-priori definierten Confounder (Jugendliche)

Jugendliche			
Variable	Ausprägung	Prävalenz der chronischen Müdigkeit (%)	p-Wert
Alter	13-15 Jahre	46,7	<0,0001
	16-17 Jahre	58,2	
Geschlecht	Jungen	48,2	0,05
	Mädchen	53,3	
Bildung	anderer Schultyp	46,7	0,002
	Gymnasium	54,9	
Umweltbesorgnis	niedrig (\leq Median)	46,0	<0,0001
	hoch ($>$ Median)	57,3	
Häufigkeit Mobiltelefonate	seltener	49,0	0,01
	mind. fast täglich	56,9	
Häufigkeit DECT-Telefonate	seltener	46,3	0,002
	mind. fast täglich	54,5	
Entfernung Basisstation von Wohnung	< 500 m	52,6	0,07
	\geq 500 m	47,5	
Studienort	München	55,0	0,002
	Augsburg	48,9	
	Rosenheim	41,8	
	Landsberg	53,4	

6.3.3. Assoziation zwischen a-priori definierten Confoundern und Wachexposition

In Tabelle 34 und Tabelle 35 ist die relative Häufigkeit der Probanden mit einer Wachexposition im jeweiligen Quartil in Abhängigkeit von den Ausprägungen der Confounder getrennt für Kinder und Jugendliche dargestellt.

Die elf- und zwölfjährigen Kinder wiesen häufiger eine Wachexposition in Quartil 3 und 4 auf als die jüngeren ($p=0,01$) (Tabelle 34). Des Weiteren lag die Wachexposition bei Kindern, die laut Eigenangabe weniger als 500m von der nächsten Basisstation wohnten, häufiger in den höchsten beiden Quartilen als bei Kindern, die mehr als 500 Meter von der nächsten Basisstation wohnten ($p<0,0001$). Im Gegensatz dazu wurde kein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von Eigentelefonaten mit dem Mobiltelefon oder DECT-Telefon und der Exposition

beobachtet. Die Größe des Studienorts war ebenfalls mit der Höhe der Wachexposition der Kinder assoziiert ($p < 0,0001$). So wiesen die Kinder aus München häufiger Expositionswerte in Quartil 3 und 4 auf als Kinder aus Augsburg oder Rosenheim. In der Kleinstadt Landsberg wurde bei den Kindern am häufigsten eine Exposition im untersten Quartil beobachtet. Bei den Variablen Geschlecht, Bildung der Eltern sowie Umweltbesorgnis der Eltern zeigte sich in keiner der Expositionsgruppen ein erhöhtes Risiko.

Tabelle 34: Relative Häufigkeit der Probanden mit einer Wachexposition im jeweiligen Quartil in Abhängigkeit von der Ausprägung der Confounder (Kinder)

Kinder		Relative Häufigkeit der Probanden mit Wachexposition in den einzelnen Quartilen (%)				
Variable	Ausprägung	Quartil 1	Quartil 2	Quartil 3	Quartil 4	p-Wert
Alter	8-10 Jahre	26,9	27,2	22,9	23,0	0,01
	11-12 Jahre	22,8	22,5	27,4	27,3	
Geschlecht	Jungen	26,2	25,1	24,0	24,6	0,63
	Mädchen	23,7	24,8	26,0	25,5	
Bildung	anderer Abschluss	25,0	25,9	27,2	21,9	0,18
	mind. Fachabitur	24,6	24,8	23,9	26,7	
Umweltbesorgnis	niedrig (\leq Median)	26,1	25,8	23,0	25,1	0,21
	hoch ($>$ Median)	23,6	24,0	27,6	24,8	
Häufigkeit Mobiltelefonate	seltener	25,4	23,2	24,7	24,7	0,09
	mind. fast täglich	14,8	19,7	34,4	31,2	
Häufigkeit DECT-Telefonate	seltener	25,8	24,5	25,0	24,7	0,63
	mind. fast täglich	22,6	26,2	25,5	25,7	
Entfernung Basisstation von Wohnung	< 500 m	20,4	23,8	25,6	30,2	$< 0,0001$
	≥ 500 m	35,1	26,1	24,8	14,0	
Studienort	München	8,5	19,1	31,7	40,7	$< 0,0001$
	Augsburg	14,3	32,7	31,0	22,1	
	Rosenheim	27,9	30,2	23,6	18,3	
	Landsberg	63,4	23,6	8,1	4,9	

Bei den Jugendlichen zeigte sich bei Betrachtung der Variablen „Alter“, „Entfernung der Basisstation von der Wohnung“ und „Studienort“ ein vergleichbares Bild wie in der Gruppe der Kinder. Auch bei den Jugendlichen wiesen die älteren häufiger eine Wachexposition in den beiden höchsten Quartilen auf ($p < 0,0001$) (Tabelle 35). Die Jugendlichen, die angaben in weniger als 500 Meter Entfernung von einer

Basisstation zu wohnen, hatten ebenfalls häufiger Expositionswerte in den Quartilen 3 und 4 ($p < 0,0001$). Es zeigte sich auch hier, dass die Wachexposition mit steigender Größe des Studienorts zunehmend in höheren Quartilen lag ($p < 0,0001$). Ebenfalls vergleichbar zu den Kindern war keine Assoziation zwischen dem Geschlecht, der Bildung oder der Umweltbesorgnis der Jugendlichen und ihrer Wachexposition zu beobachten. Im Gegensatz zur Gruppe der Kinder konnten bei den Jugendlichen signifikante Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit von Eigentelefonaten mit dem Mobiltelefon bzw. DECT-Telefon und der Häufigkeit der Exposition in höheren Quartilen beobachtet werden ($p < 0,0001$ bzw. $p = 0,03$).

Tabelle 35: Relative Häufigkeit der Probanden mit einer Wachexposition im jeweiligen Quartil in Abhängigkeit von der Ausprägung der Confounder (Jugendliche)

Jugendliche		Relative Häufigkeit der Probanden mit Wachexposition in den einzelnen Quartilen (%)				p-Wert
		Quartil 1	Quartil 2	Quartil 3	Quartil 4	
Variable	Ausprägung	Quartil 1	Quartil 2	Quartil 3	Quartil 4	p-Wert
Alter	13-15 Jahre	27,4	26,4	24,7	21,5	<0,0001
	16-17 Jahre	20,7	22,6	25,5	31,2	
Geschlecht	Jungen	26,8	25,2	22,0	26,0	0,06
	Mädchen	23,3	24,8	27,8	24,1	
Bildung	anderer Schultyp	23,2	26,6	25,1	25,2	0,31
	Gymnasium	27,0	23,6	25,0	24,4	
Umweltbesorgnis	niedrig (\leq Median)	25,5	24,6	25,2	24,7	0,91
	hoch ($>$ Median)	24,3	25,5	24,6	25,7	
Häufigkeit Mobiltelefonate	seltener	28,0	25,8	24,4	21,7	<0,0001
	mind. fast täglich	14,9	22,4	27,0	35,6	
Häufigkeit DECT-Telefonate	seltener	28,6	24,1	22,9	24,4	0,03
	mind. fast täglich	22,2	25,8	26,7	25,4	
Entfernung Basisstation von Wohnung	< 500 m	22,3	24,3	24,1	29,3	<0,0001
	\geq 500 m	31,2	24,7	26,6	17,5	
Studienort	München	12,6	19,7	27,9	39,8	<0,0001
	Augsburg	15,2	29,1	33,3	22,3	
	Rosenheim	30,0	32,0	22,2	15,8	
	Landsberg	56,2	24,7	13,0	6,1	

6.4. Multivariate Ergebnisse der logistischen Regression

Zu den in diesem Kapitel in Abbildungen dargestellten Ergebnissen sind die genauen Zahlen in den Tabellen des Anhangs „Multivariate Ergebnisse“ zu finden. Dort sind auch die Odds Ratios und Konfidenzintervalle für die betrachteten Confounder aufgeführt.

6.4.1. Hauptanalysen

Objektive Exposition

Chronische Beschwerden:

Bei Betrachtung der Wachexposition in Quartilen zeigte sich für die chronischen Beschwerden weder in der Gruppe der Kinder noch bei den Jugendlichen ein signifikant erhöhtes Risiko in den Expositions-kategorien im Vergleich zur Referenzkategorie (Abbildung 42 und Abbildung 43). Bei den Kindern zeigte sich die Tendenz, dass bei einer Wachexposition im 2. und 3. Quartil weniger häufig über Einschlafprobleme berichtet wurde. Bei den Jugendlichen war zu erkennen, dass bei einer Wachexposition im 4. Quartil tendenziell häufiger eine chronische Müdigkeit angegeben wurde. Die Richtung der nicht-signifikanten Zusammenhänge zwischen Wachexposition und chronischen Beschwerden war bei Kindern und Jugendlichen meist verschieden.

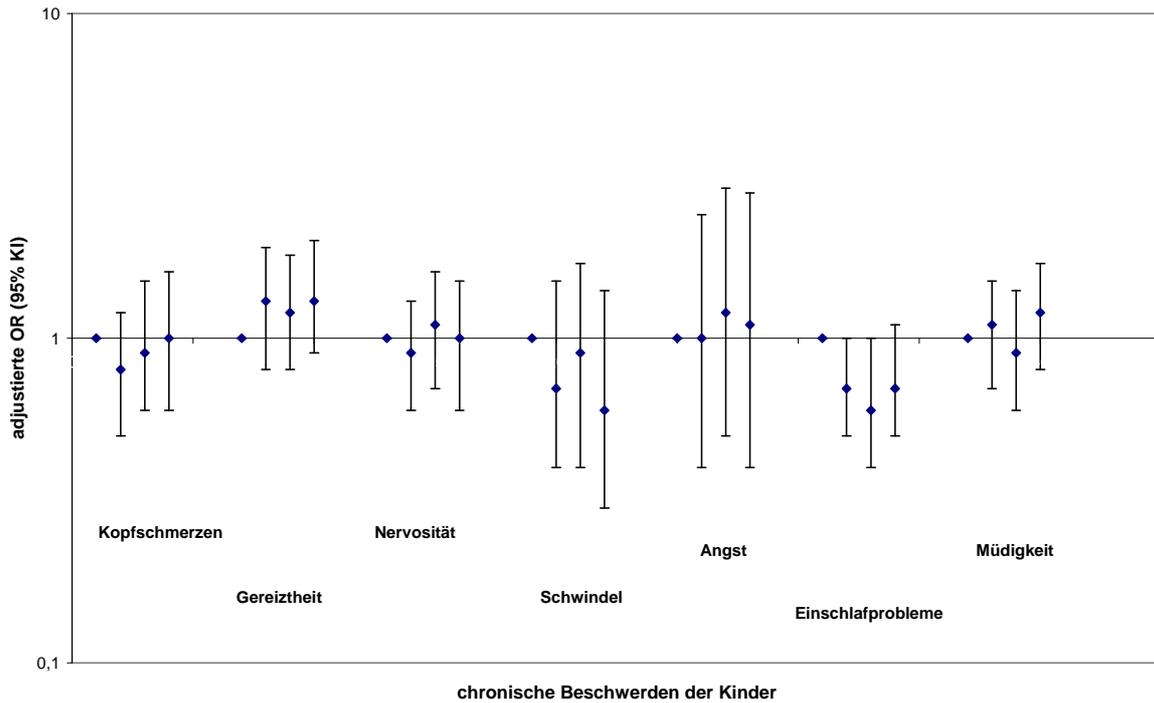


Abbildung 42: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Kinder (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Wachexposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Quartilen (Referenzkategorie: 1. Quartil (OR=1))

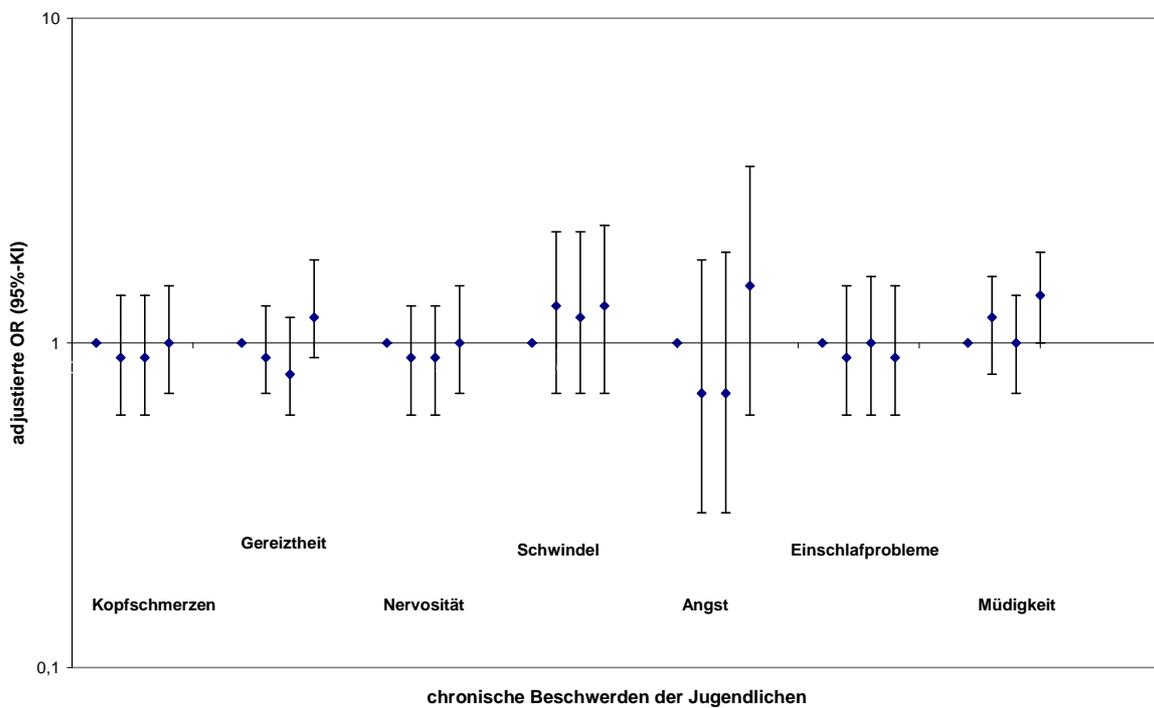


Abbildung 43: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Jugendlichen (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Wachexposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Quartilen (Referenzkategorie: 1. Quartil (OR=1))

Akute Beschwerden:

Auch bei der Betrachtung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Vormittags- bzw. Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Beschwerden am Mittag bzw. am Abend zeigte sich kein signifikant erhöhtes Risiko in den Expositions-kategorien im Vergleich zur Referenzkategorie (Abbildung 44- Abbildung 47).

Bei den Kindern zeigte sich die Tendenz, dass bei einer Nachmittagsexposition im 4. Quartil häufiger über Nervosität sowie signifikant häufiger über Konzentrationsprobleme berichtet wurde. In beiden Gruppen zeigte sich für die akute Gereiztheit am Abend ein nicht-signifikant erhöhtes Risiko in den Expositionsgruppen im Vergleich zur Referenzkategorie. (Abbildung 45)

Die Odds Ratios für den Zusammenhang zwischen Vormittagsexposition und akuten Beschwerden am Mittag unterschieden sich von denen für den Zusammenhang zwischen Nachmittagsexposition und akuten Beschwerden am Abend.

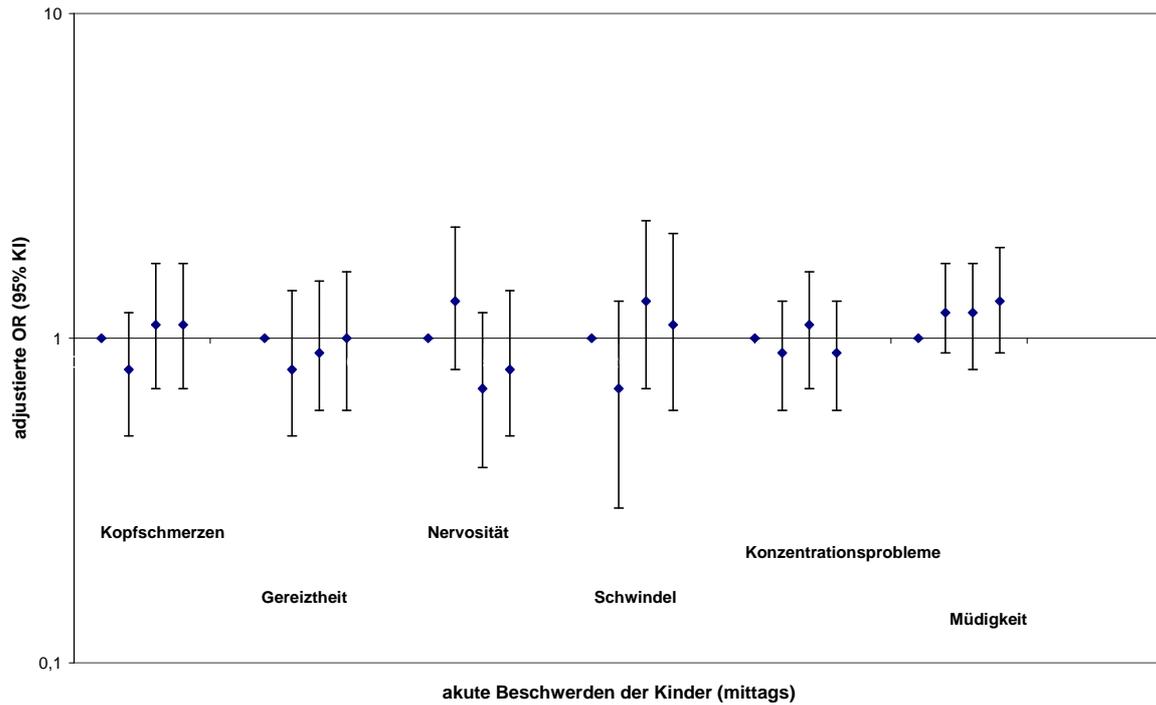


Abbildung 44: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Kinder (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Quartilen (Referenzkategorie: 1. Quartil (OR=1))

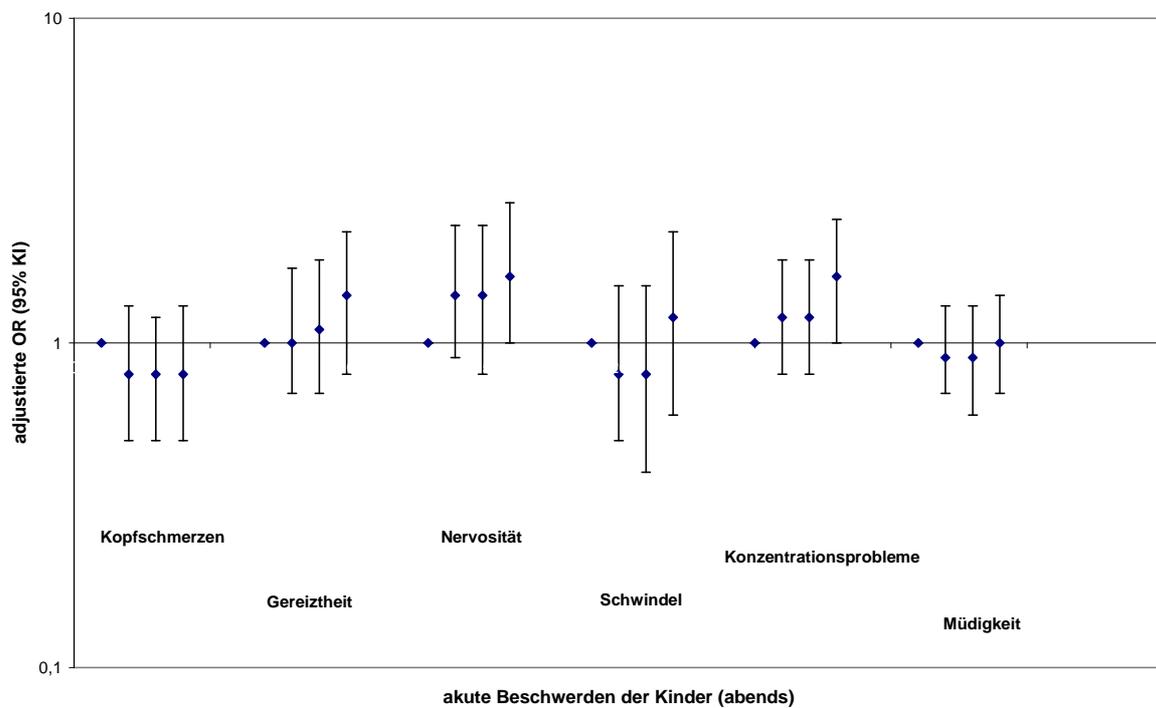


Abbildung 45: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Kinder (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Quartilen (Referenzkategorie: 1. Quartil (OR=1))

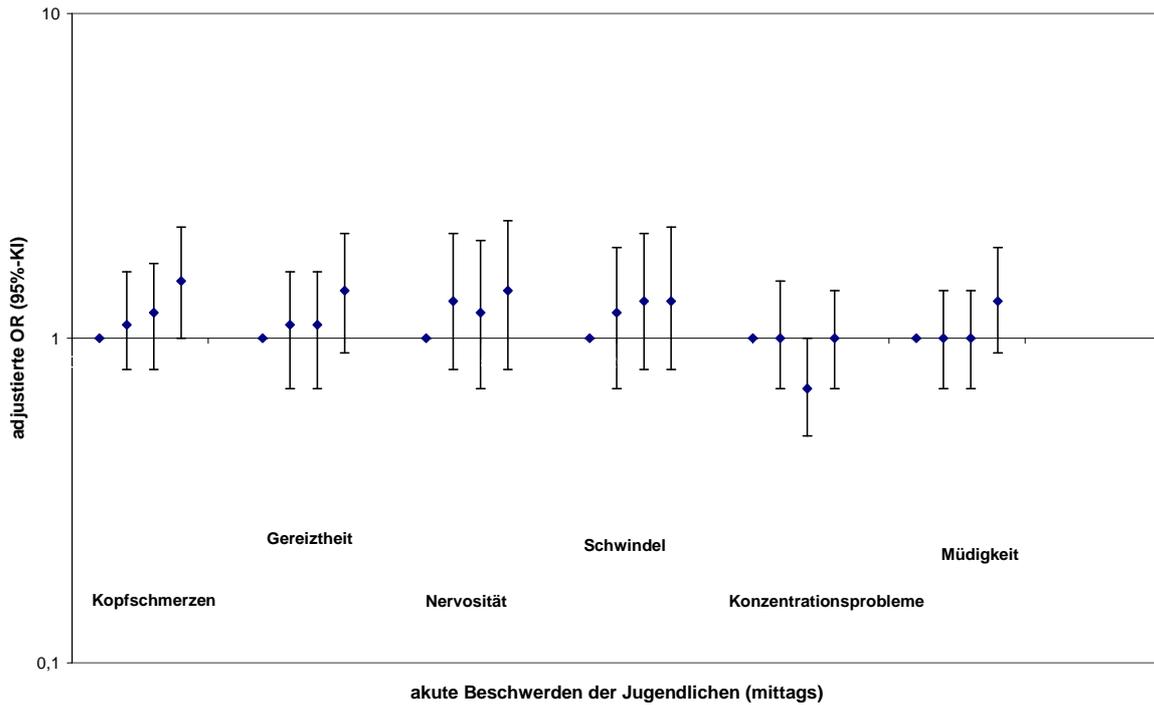


Abbildung 46: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Jugendlichen (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Vormittagsexposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Quartilen (Referenzkategorie: 1. Quartil (OR=1))

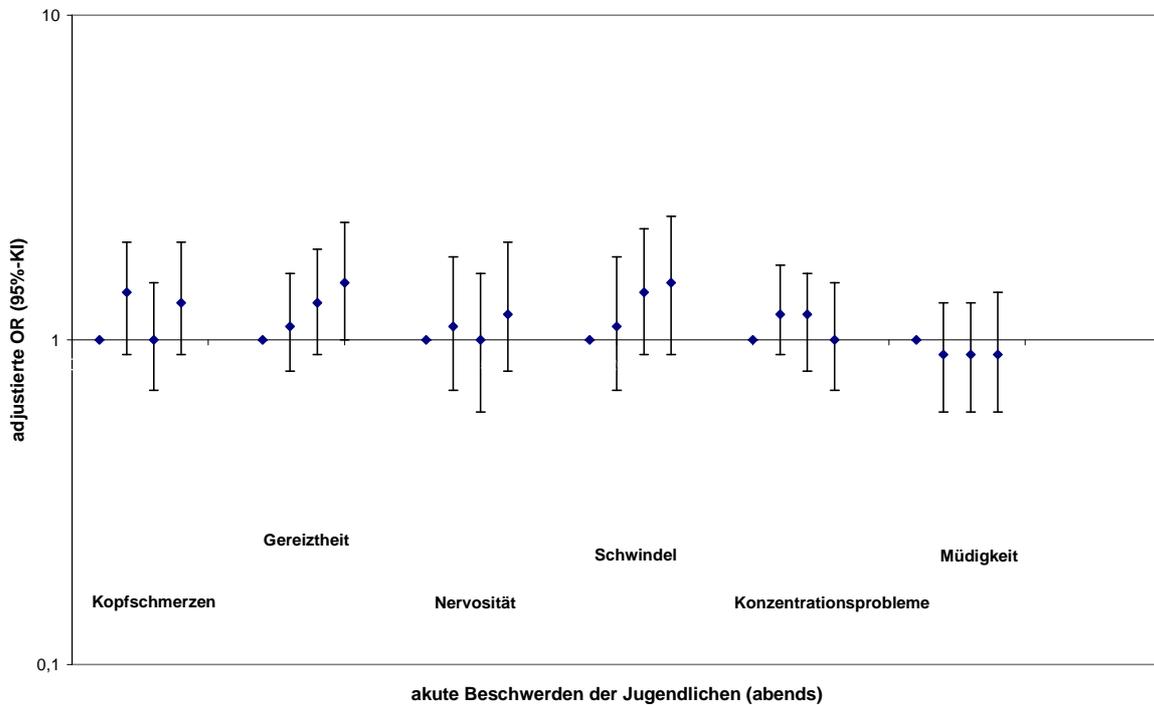


Abbildung 47: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Jugendlichen (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Nachmittagsexposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Quartilen (Referenzkategorie: 1. Quartil (OR=1))

Subjektive Exposition

Chronische Beschwerden:

Auch bei Betrachtung der selbsteingeschätzten Entfernung der Wohnung zur nächsten Basisstation durch die Eltern als Expositionsmaß waren in der Gruppe der Kinder keine statistisch signifikanten Assoziationen mit den chronischen Beschwerden zu erkennen (Abbildung 48). In der Gruppe der Jugendlichen dagegen zeigte sich, dass die Jugendlichen, bei denen sich laut eigener Angabe die nächste Basisstation in weniger als 500 Meter Entfernung von der Wohnung befand, signifikant häufiger über chronische Gereiztheit berichteten (OR=1,4 (1,1; 1,8)). Zudem berichteten diese Jugendlichen signifikant häufiger über chronische Kopfschmerzen (OR=1,4 (1,003; 1,8)) (Abbildung 49).

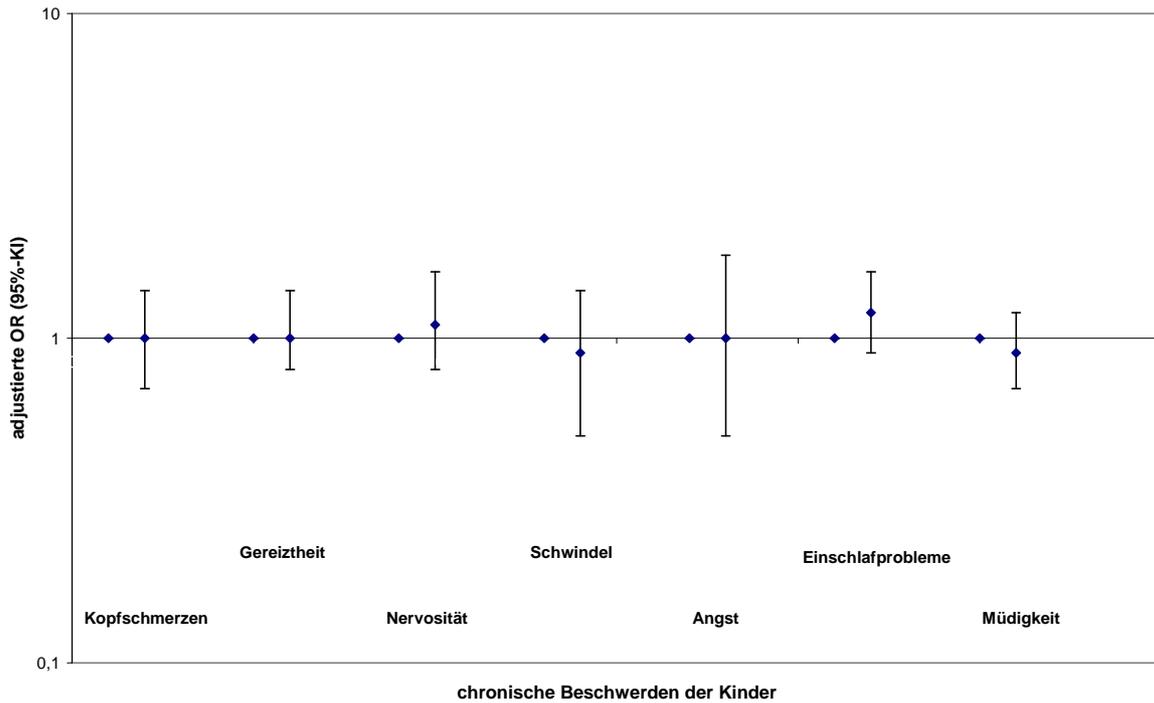


Abbildung 48: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Kinder (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung und Studienort) in Abhängigkeit von der selbsteingeschätzten Entfernung der Wohnung zur nächsten Basisstation (Referenzkategorie: $\geq 500\text{m}$ (OR=1))

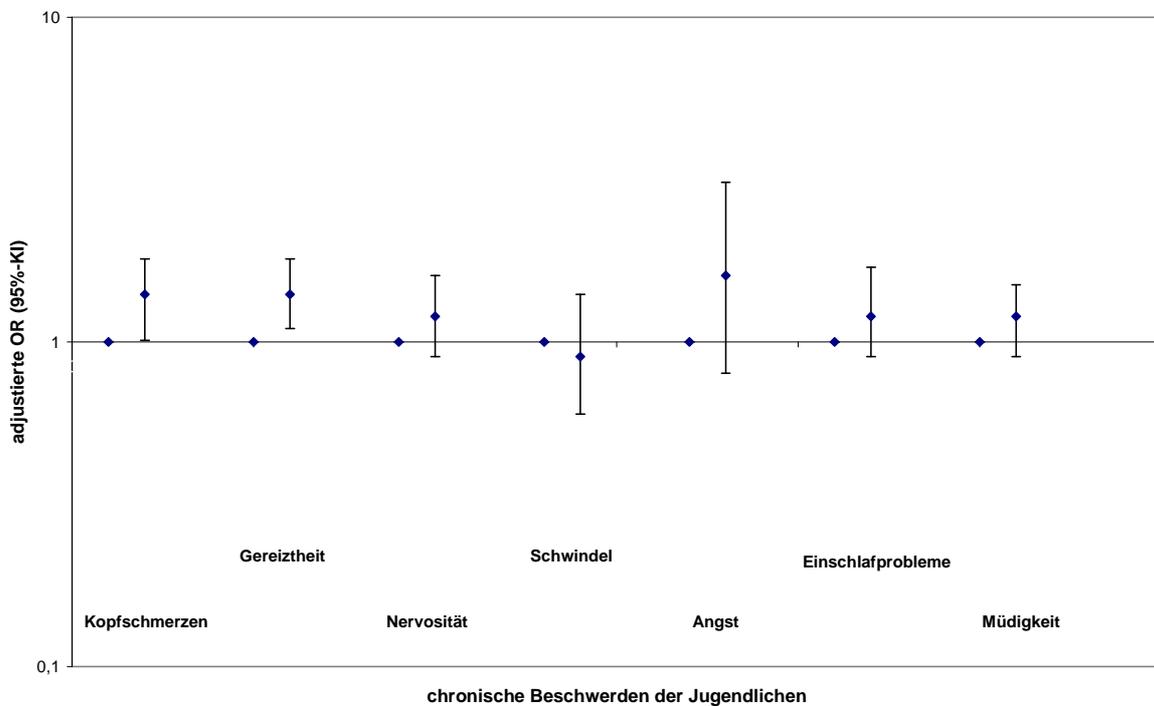


Abbildung 49: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für chronische Beschwerden der Jugendlichen (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Mobiltelefonnutzung, DECT-Nutzung und Studienort) in Abhängigkeit von der selbsteingeschätzten Entfernung der Wohnung zur nächsten Basisstation (Referenzkategorie: $\geq 500\text{m}$ (OR=1))

Akute Beschwerden:

Als subjektives Expositionsmaß für die akuten Beschwerden wurde die selbstberichtete Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8 Stunden vor Ausfüllen des Beschwerden-Tagebuchs verwendet und die Assoziation mit akuten Beschwerden am Mittag und am Abend betrachtet.

In der Gruppe der Kinder war zu erkennen, dass die Probanden, die angaben, am Vormittag länger als 5 Minuten mit dem DECT-Telefon telefoniert zu haben, signifikant häufiger über mittägliche Gereiztheit, Nervosität und Konzentrationsprobleme berichteten (Abbildung 50). Bei den akuten Beschwerden am Abend war diese Assoziation nur für die Konzentrationsprobleme statistisch signifikant (Abbildung 51).

Im Gegensatz dazu zeigten sich bei den Kindern keine Zusammenhänge zwischen der Dauer der Mobiltelefonate und akuten mittäglichen oder abendlichen Beschwerden.

In der Gruppe der Jugendlichen berichteten diejenigen, die am Vormittag länger als 5 Minuten mit dem Mobiltelefon telefoniert haben, statistisch signifikant häufiger über akute Gereiztheit sowie akute Müdigkeit am Mittag. Es wurde hingegen keine Assoziation zwischen der selbstberichteten Dauer von DECT-Telefonaten am Vormittag und mittäglichen Beschwerden beobachtet. (Abbildung 52)

Bei Betrachtung der selbstberichteten Dauer von Mobil- und DECT-Telefonaten am Nachmittag zeigten sich keine Zusammenhänge mit akuten abendlichen Beschwerden. Eine Ausnahme bildete die Zielgröße „akute abendliche Gereiztheit“, die von Probanden, die länger als 5 Minuten mit dem DECT telefonierten, signifikant häufiger angegeben wurde (Abbildung 53).

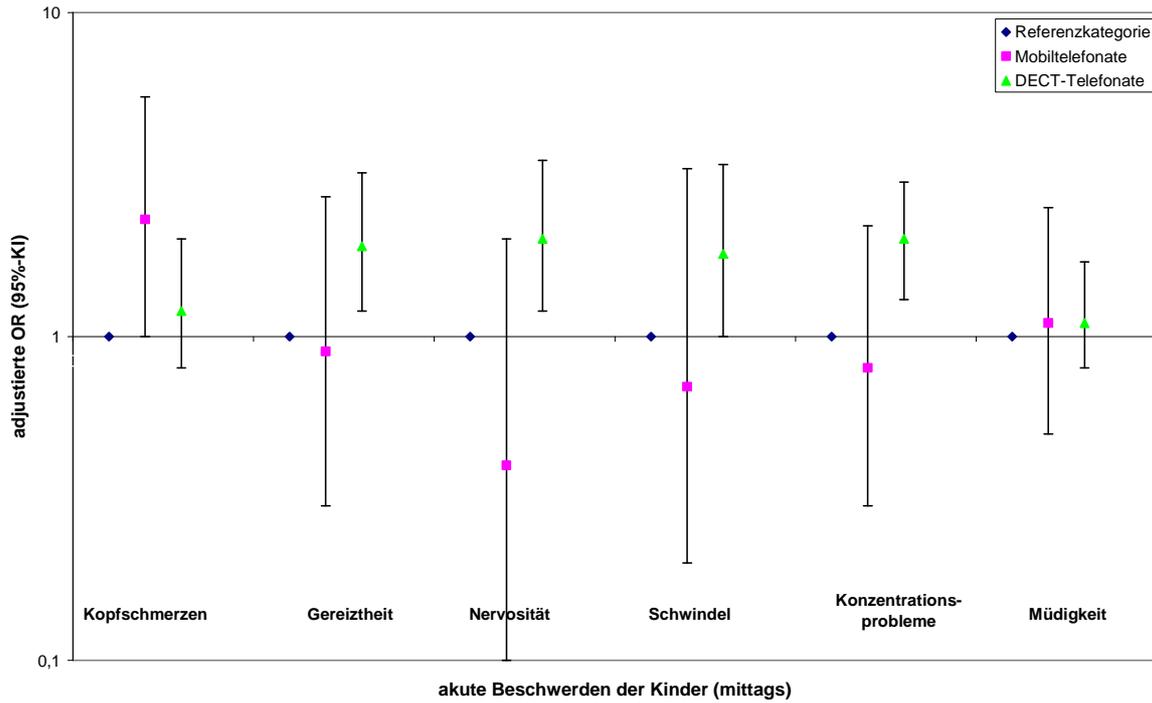


Abbildung 50: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Kinder (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8h (Referenzkategorie: ≤ 5 min (OR=1))

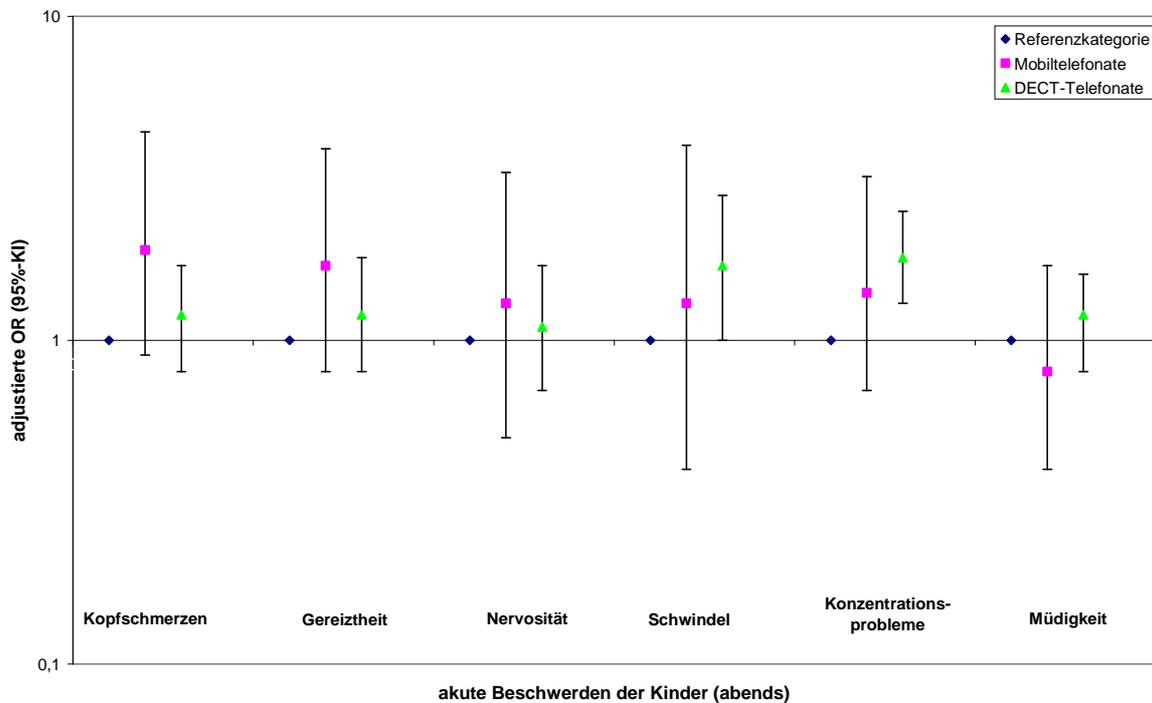


Abbildung 51: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Kinder (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8h (Referenzkategorie: ≤ 5 min (OR=1))

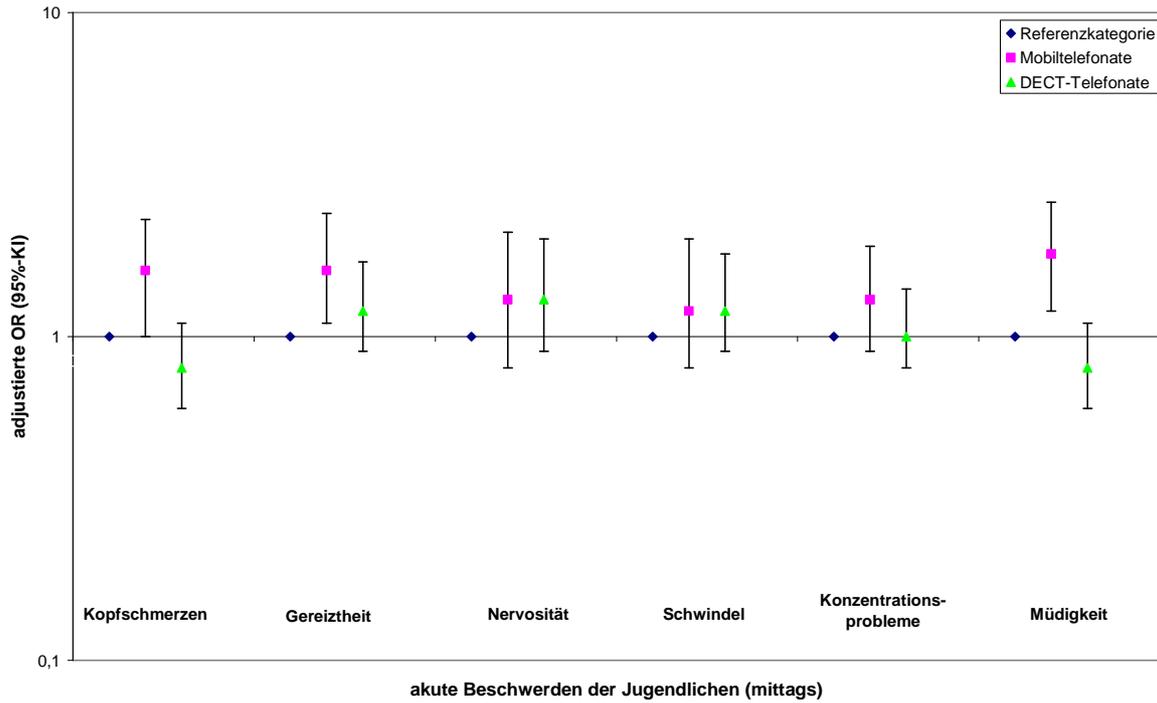


Abbildung 52: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute mittägliche Beschwerden der Jugendlichen (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8h (Referenzkategorie: ≤ 5 min (OR=1))

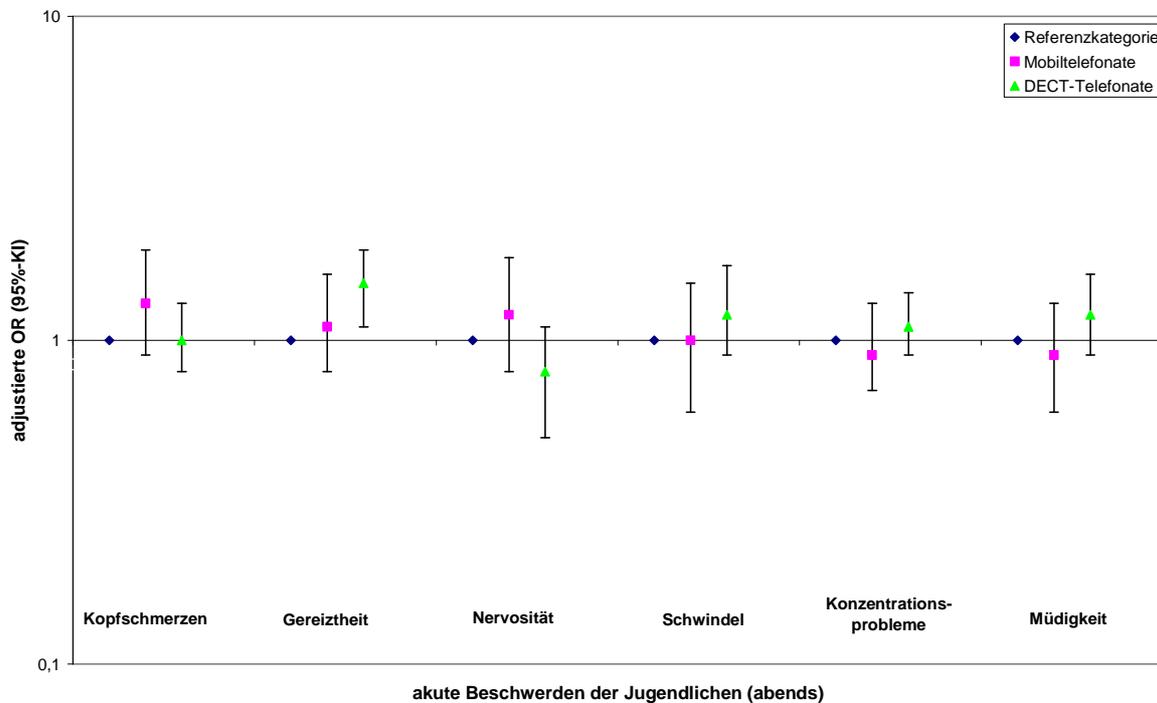


Abbildung 53: Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) für akute abendliche Beschwerden der Jugendlichen (adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung, Umweltbesorgnis, Entfernung zur Basisstation und Studienort) in Abhängigkeit von der Dauer der Mobil- und DECT-Telefonate während der letzten 8h (Referenzkategorie: ≤ 5 min (OR=1))

6.4.2. Sensitivitätsanalysen

Objektive Exposition getrennt für 3 Frequenzbereiche

Chronische Beschwerden:

Für eine Sensitivitätsanalyse wurde die Wachexposition getrennt für die drei Frequenzbereiche des D-Netzes, E-Netzes (einschließlich UMTS und DECT) sowie WLAN berechnet und in Quartile eingeteilt. Die drei Expositionsvariablen gingen zusammen in das Regressionsmodell ein.

Vergleichbar zu den obigen Berechnungen mit der Wachexposition über alle Frequenzen zeigten sich auch hier weder bei den Kindern noch bei den Jugendlichen statistisch signifikante Zusammenhänge mit den chronischen Beschwerden (Tabelle 36- Tabelle 49). Die einzige Ausnahme war in der Gruppe der Kinder zu beobachten. Dort war eine WLAN-Exposition im 2. Quartil mit einer signifikant häufigeren Angabe von chronischer Angst assoziiert (Tabelle 44).

Tabelle 36: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Kopfschmerzen bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Kopfschmerzen n/N=209/1383			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,3	0,8	2,0
Quartil 3	1,2	0,7	1,9
Quartil 4	1,3	0,8	2,2
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,6
Quartil 3	1,0	0,6	1,7
Quartil 4	1,1	0,6	1,9
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,7
Quartil 3	0,7	0,4	1,1
Quartil 4	0,9	0,6	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 37: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Kopfschmerzen bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Kopfschmerzen n/N=268/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,2
Quartil 3	0,8	0,5	1,3
Quartil 4	0,8	0,5	1,3
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,6
Quartil 3	1,1	0,7	1,7
Quartil 4	1,3	0,8	2,1
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,1
Quartil 3	0,8	0,5	1,1
Quartil 4	0,6	0,4	1,0

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 38: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Gereiztheit bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Gereiztheit n/N=287/1383			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,5
Quartil 3	1,1	0,7	1,7
Quartil 4	1,1	0,7	1,8
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,5
Quartil 3	1,1	0,7	1,8
Quartil 4	1,2	0,8	1,9
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,7
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	0,9	0,6	1,3

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 39: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Gereiztheit bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Gereiztheit n/N=454/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,2
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,1	0,7	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,3
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,0	0,7	1,5
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,4
Quartil 3	1,0	0,7	1,3
Quartil 4	1,3	0,9	1,8

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 40: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Nervosität bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Nervosität n/N=249/1382			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,4	1,0
Quartil 3	1,0	0,6	1,5
Quartil 4	1,0	0,6	1,5
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,3	0,8	1,9
Quartil 3	0,8	0,5	1,4
Quartil 4	1,0	0,6	1,7
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,4
Quartil 3	1,1	0,8	1,7
Quartil 4	1,1	0,7	1,6

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 41: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Nervosität bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Nervosität n/N=325/1410			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,6	1,2
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,0	0,6	1,5
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,8	1,7
Quartil 3	0,9	0,6	1,4
Quartil 4	0,9	0,6	1,4
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,7	1,3
Quartil 3	1,1	0,7	1,5
Quartil 4	1,0	0,7	1,5

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 42: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischem Schwindel bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Schwindel n/N=77/1383			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	0,7	2,7
Quartil 3	1,3	0,6	2,8
Quartil 4	1,1	0,5	2,5
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,4	1,7
Quartil 3	0,9	0,4	2,0
Quartil 4	0,7	0,3	1,8
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,5	0,8	2,8
Quartil 3	0,7	0,3	1,4
Quartil 4	0,9	0,5	1,8

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 43: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischem Schwindel bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Schwindel n/N=135/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	0,8	2,3
Quartil 3	1,1	0,6	1,9
Quartil 4	0,9	0,5	1,8
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,8
Quartil 3	1,4	0,8	2,5
Quartil 4	1,6	0,8	3,1
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,6	1,8
Quartil 3	1,1	0,7	1,9
Quartil 4	0,8	0,5	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 44: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Angst bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Angst n/N=50/1381			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,8	0,8	4,3
Quartil 3	1,8	0,7	4,7
Quartil 4	1,2	0,4	3,4
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,6	0,3	1,5
Quartil 3	0,6	0,2	1,6
Quartil 4	1,0	0,4	2,7
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	2,6	1,1	6,1
Quartil 3	1,3	0,5	3,4
Quartil 4	1,7	0,7	4,2

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 45: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Angst bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Angst n/N=48/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,3	1,8
Quartil 3	0,8	0,3	2,1
Quartil 4	1,6	0,6	4,1
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,3	2,0
Quartil 3	1,1	0,4	2,6
Quartil 4	0,7	0,3	2,1
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,6	0,2	1,3
Quartil 3	1,0	0,5	2,1
Quartil 4	0,6	0,2	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 46: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Einschlafproblemen bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Einschlafprobleme n/N=269/1382			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,2
Quartil 3	0,7	0,4	1,1
Quartil 4	1,1	0,7	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,6
Quartil 3	0,8	0,5	1,2
Quartil 4	0,6	0,4	1,0
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,8
Quartil 3	1,1	0,7	1,6
Quartil 4	1,0	0,7	1,5

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 47: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischen Einschlafproblemen bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Einschlafprobleme n/N=199/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,3
Quartil 3	1,1	0,7	1,8
Quartil 4	0,9	0,5	1,5
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,5
Quartil 3	1,0	0,6	1,6
Quartil 4	0,8	0,5	1,4
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,5	1,0	2,3
Quartil 3	1,4	0,9	2,2
Quartil 4	1,1	0,7	1,8

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 48: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Müdigkeit bei den Kindern

Kinder: Zielgröße chronische Müdigkeit n/N=413/1383			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,5
Quartil 3	0,8	0,6	1,2
Quartil 4	1,1	0,7	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,6
Quartil 3	1,1	0,7	1,6
Quartil 4	1,3	0,9	2,0
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,9	1,7
Quartil 3	1,2	0,8	1,7
Quartil 4	1,1	0,7	1,5

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 49: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen und chronischer Müdigkeit bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße chronische Müdigkeit n/N=719/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,6
Quartil 3	1,3	0,9	1,7
Quartil 4	1,3	0,9	1,9
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,9	1,6
Quartil 3	1,0	0,7	1,4
Quartil 4	1,2	0,8	1,8
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,7	1,3
Quartil 3	1,0	0,7	1,4
Quartil 4	0,9	0,6	1,2

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Akute Beschwerden:

Im Gegensatz zu den Berechnungen mit den gesamten Tagesabschnittsexpositionen über alle Frequenzen zeigten sich bei Betrachtung der Kinder vereinzelt statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der in drei Frequenzbereiche aufgeteilten Tageszeiten-Exposition und akuten Beschwerden am Mittag bzw. am Abend. So war in dieser Gruppe eine WLAN-Vormittagsexposition im 4. Quartil mit einem häufigeren Auftreten von akuten mittäglichen Konzentrationsproblemen assoziiert (Tabelle 66). Des Weiteren zeigte sich, dass die Kinder mit einer Nachmittagsexposition im 4. Quartil des E-Netz Bereiches signifikant häufiger über akute Konzentrationsprobleme am Abend berichteten (Tabelle 67). Probanden mit einer vormittäglichen Exposition im 2. Quartil des D-Netzes gaben häufiger an, mittags akut müde zu sein (Tabelle 70). Dagegen war eine nachmittägliche Exposition im 3. und 4. Quartil des WLAN Bereiches mit einer selteneren Angabe von abendlicher Müdigkeit assoziiert (Tabelle 71).

In der Gruppe der Jugendlichen zeigte sich nur für eine akute Zielgröße ein statistisch signifikanter Zusammenhang. Bei den jugendlichen Teilnehmern war eine D-Netz Exposition im 4. Quartil am Vormittag mit der häufigeren Angabe von akuter mittäglicher Gereiztheit assoziiert (Tabelle 56).

Tabelle 50: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Mittag bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute mittägliche Kopfschmerzen n/N=219/1238			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,8
Quartil 3	1,3	0,8	2,1
Quartil 4	1,4	0,8	2,2
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,3
Quartil 3	0,7	0,4	1,1
Quartil 4	0,7	0,4	1,2
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,7	1,8
Quartil 3	1,3	0,9	2,1
Quartil 4	1,3	0,8	2,0

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 51: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Abend bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute abendliche Kopfschmerzen n/N=211//1232			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,4
Quartil 3	0,7	0,4	1,1
Quartil 4	0,8	0,5	1,4
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,6
Quartil 3	1,1	0,7	1,8
Quartil 4	0,9	0,5	1,6
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,5
Quartil 3	1,0	0,6	1,5
Quartil 4	0,8	0,5	1,3

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 52: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Mittag bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute mittägliche Kopfschmerzen n/N=336/1185			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,3
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,1	0,8	1,7
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,8	1,7
Quartil 3	1,0	0,7	1,5
Quartil 4	1,1	0,7	1,7
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,5
Quartil 3	1,0	0,7	1,5
Quartil 4	1,4	0,9	2,0

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 53: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Kopfschmerzen am Abend bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute abendliche Kopfschmerzen n/N=320/1298			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,8	1,7
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,0	0,7	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,2
Quartil 3	1,1	0,7	1,6
Quartil 4	1,2	0,8	1,9
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,3
Quartil 3	1,2	0,8	1,8
Quartil 4	1,0	0,7	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 54: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Mittag bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute mittägliche Gereiztheit n/N=173/1239			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,5
Quartil 3	0,8	0,5	1,3
Quartil 4	0,9	0,5	1,5
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	0,8	2,2
Quartil 3	1,1	0,6	1,8
Quartil 4	1,1	0,6	2,0
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,3	0,8	2,1
Quartil 3	1,4	0,9	2,4
Quartil 4	1,6	1,0	2,6

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 55: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Abend bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute abendliche Gereiztheit n/N=212/1231			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,5
Quartil 3	0,8	0,5	1,4
Quartil 4	1,0	0,6	1,8
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,6
Quartil 3	1,2	0,7	2,0
Quartil 4	1,5	0,9	2,6
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,5
Quartil 3	1,6	1,0	2,5
Quartil 4	1,2	0,8	1,8

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 56: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Mittag bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute mittägliche Gereiztheit n/N=278/1182			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,6
Quartil 3	0,9	0,6	1,5
Quartil 4	1,8	1,1	2,7
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,2
Quartil 3	0,8	0,5	1,2
Quartil 4	0,6	0,4	0,9
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,2
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,1	0,7	1,7

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 57: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Gereiztheit am Abend bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute abendliche Gereiztheit n/N=345/1299			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,7
Quartil 3	1,2	0,8	1,8
Quartil 4	1,3	0,8	1,9
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,8
Quartil 3	1,3	0,8	1,9
Quartil 4	1,6	1,0	2,5
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,3
Quartil 3	0,7	0,5	1,0
Quartil 4	0,8	0,6	1,1

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 58: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Mittag bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute mittägliche Nervosität n/N=138/1238			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,5	0,9	2,4
Quartil 3	0,9	0,5	1,5
Quartil 4	1,1	0,6	2,0
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,6
Quartil 3	1,2	0,7	2,1
Quartil 4	0,7	0,4	1,4
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,3	0,8	2,1
Quartil 3	1,0	0,6	1,7
Quartil 4	0,9	0,5	1,5

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 59: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Abend bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute abendliche Nervosität n/N=181/1231			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,6
Quartil 3	1,0	0,6	1,6
Quartil 4	1,2	0,7	2,1
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,5	0,9	2,4
Quartil 3	1,4	0,8	2,4
Quartil 4	1,5	0,8	2,7
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,4
Quartil 3	0,8	0,5	1,2
Quartil 4	0,9	0,6	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 60: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Mittag bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute mittägliche Nervosität n/N=153/1184			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	0,8	2,3
Quartil 3	1,3	0,7	2,2
Quartil 4	1,8	1,0	3,2
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,3
Quartil 3	0,5	0,3	0,9
Quartil 4	0,7	0,4	1,2
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,4	1,1
Quartil 3	0,8	0,5	1,3
Quartil 4	0,8	0,5	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 61: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Nervosität am Abend bei den Jugendlichen

Jugendlichen: Zielgröße akute abendliche Nervosität n/N=189/1296			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,7
Quartil 3	1,3	0,8	2,1
Quartil 4	1,2	0,7	2,1
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,7
Quartil 3	0,8	0,5	1,3
Quartil 4	0,8	0,5	1,4
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,5
Quartil 3	1,0	0,6	1,5
Quartil 4	1,0	0,6	1,5

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 62: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Mittag bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akuter mittäglicher Schwindel n/N=97/1239			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,6	2,3
Quartil 3	1,9	1,0	3,7
Quartil 4	1,5	0,7	3,0
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,5	1,7
Quartil 3	0,7	0,4	1,4
Quartil 4	0,7	0,4	1,5
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,9
Quartil 3	1,1	0,6	2,0
Quartil 4	1,1	0,6	2,0

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 63: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der in 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Abend bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akuter abendlicher Schwindel n/N=110/1230			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,6
Quartil 3	0,9	0,5	1,7
Quartil 4	1,1	0,5	2,2
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,5
Quartil 3	0,8	0,4	1,6
Quartil 4	0,9	0,4	1,8
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,5	0,9	2,8
Quartil 3	1,5	0,8	2,7
Quartil 4	1,2	0,7	2,2

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 64: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Mittag bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akuter mittäglicher Schwindel n/N=194/1185			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,7
Quartil 3	1,2	0,7	1,9
Quartil 4	1,4	0,9	2,4
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,7
Quartil 3	1,0	0,6	1,6
Quartil 4	0,9	0,5	1,5
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,5	1,4
Quartil 3	1,3	0,8	2,1
Quartil 4	1,3	0,8	2,0

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 65: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akutem Schwindel am Abend bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akuter abendlicher Schwindel n/N=191/1230			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,5
Quartil 3	1,3	0,8	2,2
Quartil 4	1,2	0,7	2,0
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,6	1,6
Quartil 3	1,2	0,7	2,0
Quartil 4	1,4	0,8	2,5
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,5	1,1
Quartil 3	1,0	0,7	1,6
Quartil 4	0,7	0,5	1,2

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 66: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Mittag bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute mittägliche Konzentrationsprobleme n/N=243/1238			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,9
Quartil 3	1,3	0,8	2,0
Quartil 4	1,1	0,7	1,9
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,7
Quartil 3	0,8	0,5	1,2
Quartil 4	0,8	0,5	1,3
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	0,9	2,2
Quartil 3	1,3	0,8	2,0
Quartil 4	1,7	1,1	2,6

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 67: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Abend bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute abendliche Konzentrationsprobleme n/N=308/1229			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,3
Quartil 3	0,8	0,5	1,3
Quartil 4	1,0	0,6	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,3	0,9	1,9
Quartil 3	1,6	1,0	2,4
Quartil 4	2,1	1,3	3,3
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,6	1,2
Quartil 3	0,8	0,5	1,1
Quartil 4	0,9	0,7	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 68: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Mittag bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute mittägliche Konzentrationsprobleme n/N=360/1184			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,8
Quartil 3	0,8	0,6	1,2
Quartil 4	1,1	0,7	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,5	1,0
Quartil 3	0,8	0,5	1,2
Quartil 4	0,9	0,6	1,3
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,2
Quartil 3	1,0	0,7	1,4
Quartil 4	0,8	0,6	1,2

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 69: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuten Konzentrationsproblemen am Abend bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute abendliche Konzentrationsprobleme n/N=465/1295			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,6	1,1
Quartil 3	1,1	0,8	1,6
Quartil 4	0,8	0,5	1,1
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,7	1,5
Quartil 3	1,2	0,8	1,7
Quartil 4	1,5	1,0	2,2
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,8	1,5
Quartil 3	0,9	0,6	1,2
Quartil 4	0,8	0,6	1,1

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 70: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Mittag bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute mittägliche Müdigkeit n/N=450/1239			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,7	1,2	2,4
Quartil 3	1,5	1,0	2,1
Quartil 4	1,9	1,3	2,8
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	1,0	2,0
Quartil 3	1,2	0,8	1,7
Quartil 4	0,9	0,6	1,4
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,1	0,8	1,6
Quartil 3	1,0	0,7	1,4
Quartil 4	1,0	0,7	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 71: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Abend bei den Kindern

Kinder: Zielgröße akute abendliche Müdigkeit n/N=725/1227			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,0	0,7	1,4
Quartil 3	0,9	0,6	1,3
Quartil 4	1,0	0,7	1,6
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,9	1,8
Quartil 3	1,5	1,0	2,2
Quartil 4	1,2	0,8	1,8
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,6	1,1
Quartil 3	0,6	0,4	0,9
Quartil 4	0,6	0,4	0,9

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 72: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Vormittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Mittag bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute mittägliche Müdigkeit n/N=601/1183			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,2	0,8	1,6
Quartil 3	1,0	0,7	1,5
Quartil 4	1,4	0,9	2,0
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,9	0,6	1,2
Quartil 3	1,1	0,8	1,6
Quartil 4	1,1	0,7	1,7
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	1,0	1,9
Quartil 3	1,3	0,9	1,8
Quartil 4	1,0	0,7	1,4

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 73: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der In 3 Frequenzbereiche aufgeteilten Nachmittagsexposition in Quartilen und akuter Müdigkeit am Abend bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße akute abendliche Müdigkeit n/N=939/1298			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition D-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,5	1,0
Quartil 3	0,9	0,6	1,4
Quartil 4	0,8	0,5	1,2
Wachexposition E-Netz			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,4	0,9	2,0
Quartil 3	1,5	1,0	2,3
Quartil 4	1,3	0,8	1,9
Wachexposition WLAN			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,8	0,6	1,2
Quartil 3	0,8	0,6	1,2
Quartil 4	0,7	0,5	1,1

Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Am 90%-Perzentil dichotomisierte objektive ExpositionChronische Beschwerden:

Für eine weitere Sensitivitätsanalyse wurde die Wachexposition am 90%-Perzentil in zwei Kategorien eingeteilt. Auch bei diesen Berechnungen zeigten sich in keiner der beiden Altersgruppen statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Wachexposition und selbstberichteten chronischen Beschwerden (Tabelle 74 und Tabelle 75). Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den Berechnungen unter Verwendung der Wachexposition in Quartilen bzw. der in drei Frequenzbereiche aufgeteilten Wachexposition in Quartilen.

Tabelle 74: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Wachexposition und chronischen Beschwerden bei den Kindern *

Kinder	Wachexposition (dichotomisiert am 90%-Perzentil)		
	unteres Perzentil (Referenzkategorie)	oberes Perzentil	
Chronische Beschwerden	OR	OR	KI
Kopfschmerzen n/N=209/1383	1,0	0,7	0,4; 1,3
Gereiztheit n/N=287/1383	1,0	0,8	0,5; 1,3
Nervosität n/N=249/1382	1,0	0,9	0,5; 1,4
Schwindel n/N=77/1383	1,0	1,0	0,5; 2,2
Angst n/N=50/1381	1,0	0,9	0,3; 2,5
Einschlafprobleme n/N=269/1382	1,0	1,0	0,6; 1,6
Müdigkeit n/N=413/1383	1,0	0,8	0,5; 1,2

* Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Studienort

Tabelle 75: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Wachexposition und chronischen Beschwerden bei den Jugendlichen*

Jugendliche	Wachexposition (dichotomisiert am 90%-Perzentil)		
	unteres Perzentil (Referenzkategorie)	oberes Perzentil	
Chronische Beschwerden	OR	OR	KI
Kopfschmerzen n/N=268/1411	1,0	1,0	0,7; 1,7
Gereiztheit n/N=454/1411	1,0	1,1	0,7; 1,5
Nervosität n/N=325/1410	1,0	1,0	0,7; 1,5
Schwindel n/N=135/1411	1,0	0,7	0,4; 1,4
Angst n/N=48/1411	1,0	1,7	0,7; 3,9
Einschlafprobleme n/N=199/1411	1,0	1,2	0,7; 2,0
Müdigkeit n/N=719/1411	1,0	1,0	0,7; 1,5

* Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Studienort

Akute Beschwerden:

Bei den Kindern waren mit Ausnahme des akuten Schwindels keine Zusammenhänge zwischen den binären Tagesabschnitts-Expositionen und den akuten Beschwerden zu sehen. Während die Kinder mit einer Vormittagsexposition im oberen Perzentil signifikant seltener über akuten Schwindel am Mittag berichteten (Tabelle 76), gaben Kinder mit einer Nachmittagsexposition im oberen Perzentil signifikant häufiger einen akuten abendlichen Schwindel an (Tabelle 77).

In der Gruppe der Jugendlichen waren keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der am 90%-Perzentil kategorisierten Vormittags- bzw. Nachmittagsexposition und akuten selbstberichteten Beschwerden am Mittag bzw. am Abend zu beobachten (Tabelle 78 und Tabelle 79).

Tabelle 76: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Vormittagsexposition und akuten mittäglichen Beschwerden bei den Kindern *

Kinder	Vormittagsexposition (dichotomisiert am 90%-Perzentil)		
	unteres Perzentil (Referenzkategorie)	oberes Perzentil	
Akute mittägliche Beschwerden	OR	OR	KI
Kopfschmerzen n/N=219/1238	1,0	1,1	0,7; 1,8
Gereiztheit n/N=173/1239	1,0	0,8	0,4; 1,3
Nervosität n/N=138/1238	1,0	0,7	0,4; 1,4
Schwindel n/N=97/1239	1,0	0,4	0,2; 0,99
Konzentrationsprobleme n/N=243/1238	1,0	1,0	0,7; 1,7
Müdigkeit n/N=450/1239	1,0	1,1	0,7; 1,6

* Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Studienort

Tabelle 77: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Nachmittagsexposition und akuten abendlichen Beschwerden bei den Kindern *

Kinder	Nachmittagsexposition (dichotomisiert am 90%-Perzentil)		
	unteres Perzentil (Referenzkategorie)	oberes Perzentil	
Akute abendliche Beschwerden	OR	OR	KI
Kopfschmerzen n/N=211/1232	1,0	1,1	0,7; 1,8
Gereiztheit n/N=212/1231	1,0	1,2	0,8; 2,0
Nervosität n/N=181/1231	1,0	0,9	0,5; 1,7
Schwindel n/N=110/1230	1,0	1,9	1,1; 3,4
Konzentrationsprobleme n/N=308/1229	1,0	1,2	0,8; 1,8
Müdigkeit n/N=725/1227	1,0	1,0	0,7; 1,5

* Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Studienort

Tabelle 78: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Vormittagsexposition und akuten mittäglichen Beschwerden bei den Jugendlichen *

Jugendliche	Vormittagsexposition (dichotomisiert am 90%-Perzentil)		
	unteres Perzentil (Referenzkategorie)	oberes Perzentil	
Akute mittägliche Beschwerden	OR	OR	KI
Kopfschmerzen n/N=336/1185	1,0	1,4	1,0; 2,2
Gereiztheit n/N=278/1182	1,0	1,4	0,9; 2,1
Nervosität n/N=153/1184	1,0	1,0	0,6; 1,8
Schwindel n/N=194/1185	1,0	1,2	0,7; 1,9
Konzentrationsprobleme n/N=360/1184	1,0	0,9	0,6; 1,4
Müdigkeit n/N=601/1183	1,0	1,4	0,9; 2,0

* Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Studienort

Tabelle 79: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der am 90%-Perzentil dichotomisierten Nachmittagsexposition und akuten abendlichen Beschwerden bei den Jugendlichen *

Jugendliche	Nachmittagsexposition (dichotomisiert am 90%-Perzentil)		
	unteres Perzentil (Referenzkategorie)	oberes Perzentil	
Akute abendliche Beschwerden	OR	OR	KI
Kopfschmerzen n/N=320/1298	1,0	1,0	0,7; 1,6
Gereiztheit n/N=345/1299	1,0	1,1	0,7; 1,7
Nervosität n/N=189/1296	1,0	1,3	0,8; 2,1
Schwindel n/N=191/1296	1,0	1,1	0,7; 1,9
Konzentrationsprobleme n/N=465/1295	1,0	1,2	0,8; 1,8
Müdigkeit n/N=939/1298	1,0	0,8	0,5; 1,1

* Odds Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervall (KI) adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Studienort

6.4.3. Nicht-parametrische Regression

Um mögliche nicht-lineare (insbesondere quadratische) Zusammenhänge zwischen der Wachexposition (als stetiger Variable) und den betrachteten Zielgrößen explorativ zu ermitteln, wurde exemplarisch für die Zielgröße „chronische Müdigkeit“ ein generalisiertes additives Modell (GAM) berechnet, das für die a-priori definierten Confounder adjustiert wurde.

Die auf diese Weise berechneten Effektschätzer mit 95%-Konfidenzintervallen für die Wachexposition sind in Abbildung 54 und Abbildung 55 dargestellt. Anhand der beiden Grafiken war eine schwache quadratische Assoziation zwischen der Wachexposition und der chronischen Müdigkeit zu erkennen. Für die Kinder nahm die Prävalenz der chronischen Müdigkeit mit steigender Exposition tendenziell ab ($p=0,07$). Im Modell der Jugendlichen stieg die Prävalenz für chronische Müdigkeit zunächst mit steigender Exposition an, um dann im Bereich von 0,5 – 0,6% des ICNIRP Grenzwertes signifikant unter dem Ausgangsniveau zu liegen ($p=0,02$). Daher wurden zusätzliche Regressionsmodelle für die weiteren chronischen Beschwerden berechnet, in denen die Exposition stetig sowie als quadratischer Term einging. Auch diese Modelle wurden für die a-priori definierten Confounder adjustiert.

Weder in der Gruppe der Kinder noch bei den Jugendlichen wurden weitere statistisch signifikante Assoziationen zwischen der stetigen oder der quadratischen Wachexposition und den chronischen Beschwerden beobachtet (Daten nicht gezeigt).

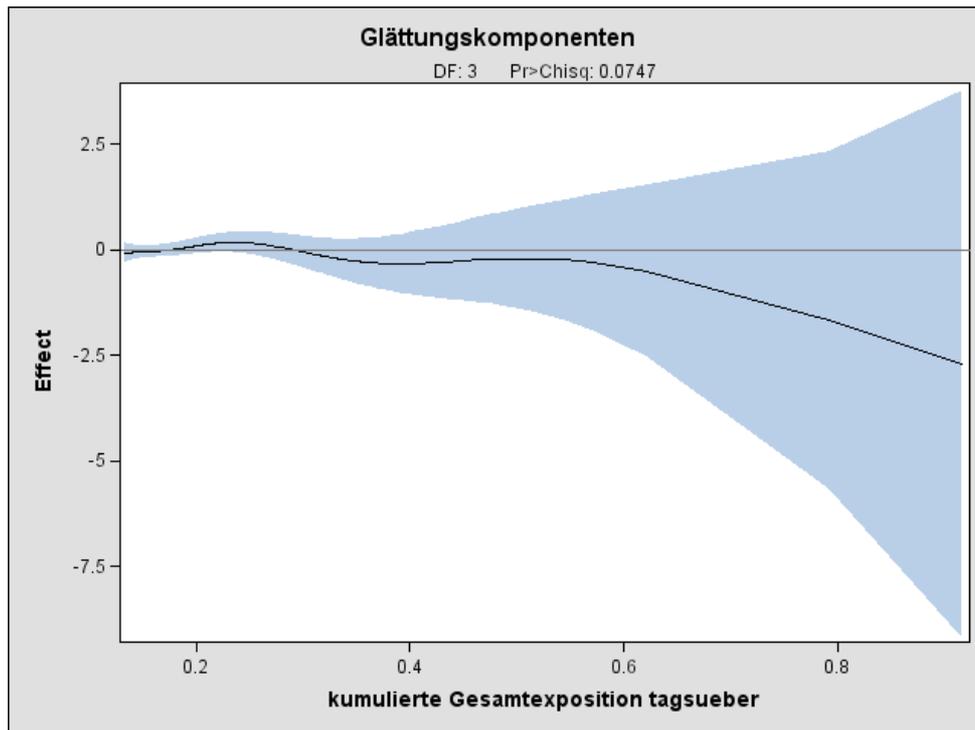


Abbildung 54: Nichtparametrische Effektschätzer mit 95%-Konfidenzintervall für die Wachexposition im generalisierten additiven Modell der Kinder (Zielgröße chronische Müdigkeit)

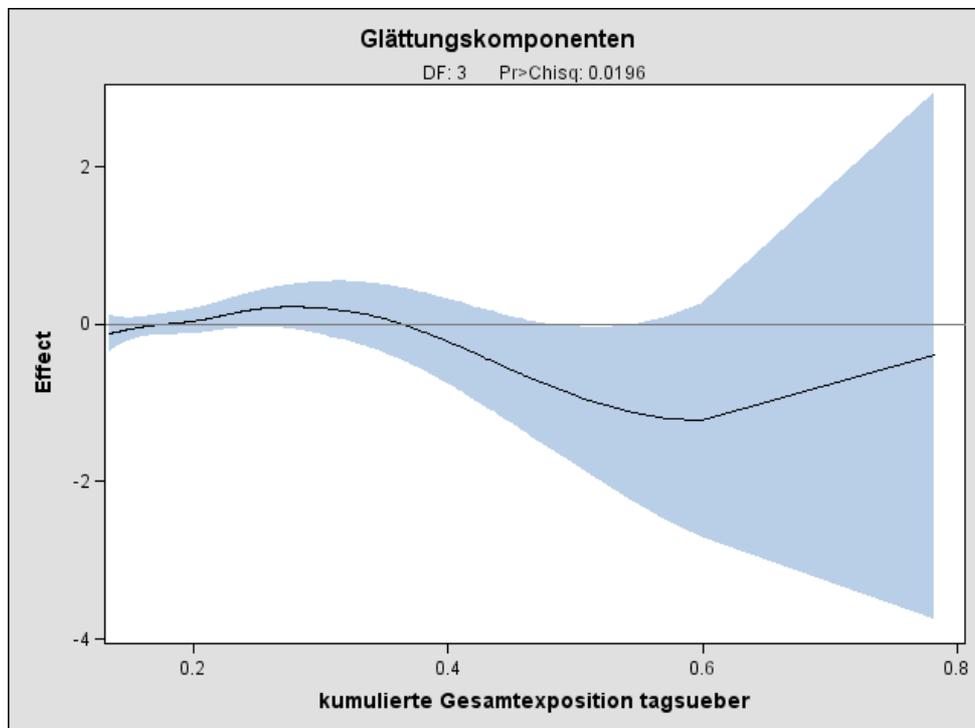


Abbildung 55: Nichtparametrische Effektschätzer mit 95%-Konfidenzintervall für die Wachexposition im generalisierten additiven Modell der Jugendlichen (Zielgröße chronische Müdigkeit)

6.4.4. Zusatzauswertung: Zusammenhang zwischen der gemessenen Wachexposition und Hyperaktivität

Aufgrund aktueller Diskussionen wurden zusätzliche Analysen zum Zusammenhang von Hyperaktivität und Mobilfunkexposition (gemessene Wachexposition) durchgeführt. Diese Analysen waren nicht a priori geplant und sind somit als rein explorativ zu werten. Die Fragen zum Thema Hyperaktivität (ADHS) wurden mit Hilfe des Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ) erhoben (Goodman 1997; Goodman, Meltzer et al. 1998; Klasen, Woerner et al. 2003). Die 25 Items des Gesamtfragebogens dienen der Quantifizierung individueller Stärken und Schwächen von Kindern und Jugendlichen und umfassen die Skalen: Emotionale Probleme, Verhaltensprobleme, Hyperaktivität, Verhaltensprobleme mit Gleichaltrigen und prosoziales Verhalten. Für die Analyse bzgl. ADHS wurde lediglich die Subskala zur Hyperaktivität verwendet. Die Skala wurde mit Hilfe von fünf Items abgebildet, die jeweils drei Ausprägungen hatte (Tabelle 80).

Tabelle 80: Fragen zur Hyperaktivität

	Nicht zutreffend	Teilweise zutreffend	Eindeutig zutreffend
Ich bin oft unruhig; ich kann nicht lange stillsitzen			
Ich bin dauernd in Bewegung und zappelig			
Ich lasse mich leicht abzulenken; ich finde es schwer mich zu konzentrieren			
Ich denke nach, bevor ich handle			
Was ich angefangen habe mache ich zu Ende; ich kann mich lange genug konzentrieren			

Die Werte wurden aufaddiert, so dass die Ergebnisse Werte zwischen 0 und 10 ergeben konnten. Als „unauffällig“ galt, wer einen Wert zwischen 0-6 Punkten, als „grenzwertig“, wer einen Wert von 7 Punkten und als „auffällig“, wer einen Wert zwischen 8-10 Punkten erreichte. Da es kaum Probanden in der Gruppe „grenzwertig“ gab, wurden diese Probanden der Gruppe „auffällig“ zugeteilt.

Insgesamt wurden 4,2% der Kinder (n=58) und 4,7% der Jugendlichen (n=67) hiernach als hyperaktiv eingestuft. Die Regressionsmodelle wurden adjustiert für die

a-priori definierten Confounder berechnet. Die Ergebnisse sind in den Tabelle 81 und 82 dargestellt.

Bei der Interpretation des adjustierten Modells für die Kinder ist zu beachten, dass bei dieser Berechnung auf Grund von Konvergenzproblemen nicht für die Variable „Häufigkeit der Mobiltelefonate“ adjustiert werden konnte. Das Konvergenzproblem lag darin begründet, dass in der Gruppe der Kinder nur ein Proband, der bezüglich der Hyperaktivität als grenzwertig/auffällig eingestuft wurde, angab, „täglich oder fast täglich“ mit dem Mobiltelefon zu telefonieren.

Es zeigte sich in der Gruppe der Kinder in keiner der Expositionsgruppen ein erhöhtes Risiko der Hyperaktivität. In Bezug auf die betrachteten Confounder zeigte sich, dass Jungen signifikant häufiger als hyperaktiv eingestuft wurden als Mädchen (0,6; 0,3-0,98). Zudem waren die Eltern hyperaktiver Kinder tendenziell eher umweltbesorgt (1,7; 1,0-2,9).

Auch umweltbesorgte Jugendliche tendierten eher zu Hyperaktivität (1,6; 1,0-2,7). In Bezug auf die selbsteingeschätzte Entfernung zur Basisstation in der Wohnumgebung ergab sich ebenfalls eine tendenziell positive Assoziation (1,7; 0,9-3,0). Legt man die objektive Expositionsabschätzung in Quartilen zugrunde, so zeigte sich tendenziell eine mit der Expositionshöhe steigende Prävalenz der Hyperaktivität. Dieser Zusammenhang war allerdings nicht (2,1; 0,9-4,8) statistisch signifikant.

Im Gegensatz zu den Kindern zeigte sich für die Jugendlichen kein Geschlechtsunterschied mehr in Bezug auf die Hyperaktivität. Allerdings ergab sich ein Alterseffekt; so wurden die 16- und 17-jährigen Jugendlichen erwartungsgemäß statistisch signifikant seltener als hyperaktiv eingestuft als die 13- bis 15-jährigen Jugendlichen.

Tabelle 81: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der Wachexposition und Hyperaktivität bei den Kindern

Kinder: Zielgröße Hyperaktivität			
n/N=58/1383			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	0,7	0,3	1,5
Quartil 3	0,6	0,2	1,3
Quartil 4	1,1	0,5	2,6
Alter			
8-10 Jahre	1,0		
11-12 Jahre	0,9	0,5	1,6
Geschlecht			
Männlich	1,0		
Weiblich	0,6	0,3	0,98
Schulbildung			
niedrigerer Abschluss	1,0		
mind. (Fach-)Abitur	1,1	0,6	1,9
Umweltbesorgnis			
≤ Median	1,0		
>Median	1,7	1,0	2,9
Häufigkeit der DECT-Telefonate			
seltener als fast täglich	1,0		
täglich oder fast täglich	0,7	0,4	1,3
Entfernung der Basisstation von Wohnung			
≥500m	1,0		
<500m	0,7	0,4	1,2
Studienort			
München	1,0		
Augsburg	1,3	0,6	2,6
Rosenheim	0,8	0,3	1,7
Landsberg	0,6	0,2	1,5

Odds Ratio und 95%-Konfidenzintervall adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

Tabelle 82: Adjustierte Ergebnisse der logistischen Regression für den Zusammenhang zwischen der Wachexposition und Hyperaktivität bei den Jugendlichen

Jugendliche: Zielgröße Hyperaktivität			
n/N=67/1411			
Effekt	Odds Ratio	95%-Konfidenzgrenzen	
Wachexposition			
Quartil 1	1,0		
Quartil 2	1,7	0,8	3,7
Quartil 3	2,0	0,9	4,5
Quartil 4	2,1	0,9	4,8
Alter			
13-15 Jahre	1,0		
16-17 Jahre	0,5	0,3	0,95
Geschlecht			
männlich	1,0		
weiblich	0,9	0,6	1,5
Schulbildung			
andere Schultypen	1,0		
Gymnasium	0,7	0,4	1,2
Umweltbesorgnis			
≤ Median	1,0		
>Median	1,6	1,0	2,7
Häufigkeit der Mobiltelefonate			
seltener als fast täglich	1,0		
täglich oder fast täglich	0,6	0,3	1,2
Häufigkeit der DECT-Telefonate			
seltener als fast täglich	1,0		
täglich oder fast täglich	1,4	0,8	2,4
Entfernung der Basisstation von Wohnung			
≥500m	1,0		
<500m	1,7	0,9	3,0
Studienort			
München	1,0		
Augsburg	0,9	0,4	1,8
Rosenheim	1,0	0,5	2,1
Landsberg	1,5	0,7	3,2

Odds Ratio und 95%-Konfidenzintervall adjustiert für Alter, Geschlecht, Schulbildung, Umweltbesorgnis, Häufigkeit der Mobiltelefon-Telefonate, Häufigkeit der DECT-Telefonate, Entfernung der Basisstation zur Wohnung und Studienort

7. Diskussion⁹

Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Der hier vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer Studie dar, deren Ziel es war, einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und dem Befinden der Kinder und Jugendlichen zu untersuchen. Daneben konnte die typische Exposition bayerischer Kinder und Jugendlicher gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern dargestellt werden.

Die mittels Personendosimeter gemessene Gesamtexposition lag sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen weit unter den geltenden ICNIRP-Grenzwerten. Es ergaben sich insgesamt keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der gemessenen Exposition und den betrachteten chronischen und akuten Beschwerden.

7.1. Diskussion der Methoden

7.1.1. Studiendesign

Wie bereits an anderer Stelle beschrieben (vgl. Kapitel 5.1), handelte es sich bei der MobilEe-Studie um eine bevölkerungsrepräsentative Querschnittsstudie. Vorteile dieser Methode liegen in ihrer vergleichsweise schnellen und kostengünstigen Praktikabilität bei einem großen Kollektiv in einem relativ kurzen Zeitraum. Ein weiterer Vorteil ist, dass gleichzeitig verschiedene Zielgrößen ohne besonderen Aufwand miteinbezogen werden können (Klug, Bender et al. 2007). Das Querschnittsdesign eignet sich allerdings nur, wenn die Exposition sowie die Beschwerden häufig in der Bevölkerung vorkommen. Diese Ausgangssituation war bei der untersuchten Fragestellung gegeben.

Ein Nachteil des Designs ist die Beschränkung auf die Erfassung des Status quo. In der Studie wurde die objektive Exposition lediglich über 24 Stunden erfasst. Durch

⁹ In Anlehnung an die Dissertationen von Dipl.-Psych. Sabine Heinrich, Dipl.-Statistikerin Anja Kühnlein, Dipl.-Päd. Silke Thomas, MPH (in Vorbereitung)

diesen Ausschnitt kann es sein, dass die aktuell gemessene Exposition nicht zwingend die Exposition eines anderen Werktages reflektierte. Aus diesem Grund wurden zusätzlich sieben 24-Stunden-Messungen an 54 Probanden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass davon auszugehen ist, dass die Expositionserfassung an nur einem der Wochentage die Exposition vergleichsweise gut abbildet. Dies galt besonders für die unter der Woche durchgeführten Messungen (Beginn der Messung Montag bis Donnerstag), an denen von einer geringen Missklassifikation auszugehen ist, die primär zu einer Unterschätzung des Risikos für die chronischen Beschwerden geführt haben kann, da sie hauptsächlich zu einer Änderung um ein Quartil führte. Für die akuten Beschwerden spielt dies hingegen keine Rolle, da sie zeitgleich mit der Exposition erfasst wurden. Diese spiegeln somit den möglichen Effekt der akuten Exposition wieder.

Da auch die untersuchten Zielgrößen lediglich einmalig erhoben wurden, kann es sein, dass es vor allem in Bezug auf die chronischen Beschwerden zu einer Missklassifikation gekommen ist. Es könnte sein, dass die Kinder und Jugendlichen auf Grund der Untersuchungsfrage ihre Beschwerden überbewerteten. In diesem Fall würde diese ebenfalls eine Missklassifikation mit sich bringen. Da die Teilnehmer jedoch ihre Exposition auf Grund der objektiven Expositionserfassung nicht wussten, gehen wir nicht davon aus, dass es zu einer Missklassifikation gekommen ist.

Mit dieser Studie sollten erste Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Mobilfunkexposition und möglichen gesundheitlichen Effekten untersucht werden. Um eine Aussage für einen längeren Zeitraum machen zu können, würde sich bspw. eine longitudinale Kohortenstudie anbieten, die die Kinder und Jugendlichen über einen längeren Zeitraum begleitet. Diese Studien sind jedoch sehr teuer, mit einem hohen Zeitaufwand verbunden und daher von den Probanden wenig akzeptiert (Klug, Bender et al. 2007). Für die in der Studie untersuchten Ziele war das Querschnittsdesign ausreichend geeignet und die Zielsetzung konnte auf Grund der großen, repräsentativen Stichprobe gut erfüllt werden.

7.1.2. Ausschöpfung und Repräsentativität der Stichprobe

Insgesamt wurden 6.386 Kinder und Jugendliche (bzw. deren Eltern) im Alter zwischen 8 und 17 Jahren aus München, Augsburg, Rosenheim und Landsberg

postalisch kontaktiert und zur Studienteilnahme eingeladen. Von den kontaktierten Personen waren 516 Personen nicht erreichbar (verzerrungsneutrale Ausfälle). Somit resultierte eine Nettostichprobe von 5.870 Personen. Von diesen nahmen insgesamt 3.022 Personen (1.498 Kinder und 1.524 Jugendliche) an dem ausführlichen Interview und der 24-Stunden Messung teil. Diese große Teilnehmerzahl bot erstmals eine ausreichend große Fallzahl, um einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und dem Befinden der Kinder und Jugendlichen zu untersuchen.

Unter Berücksichtigung des relativ hohen Zeitaufwands konnte mit 52% insgesamt eine zufriedenstellende Teilnahmebereitschaft erreicht werden. Dies lag u. a. sicherlich an den umfassenden Maßnahmen zur Response-Erhöhung. So wurden bspw. den Probanden, die aus zeitlichen Gründen nicht ins Untersuchungszentrum kommen konnten, Hausbesuche angeboten. Eine weitere Ursache für die in Anbetracht des hohen zeitlichen Aufwandes für die Probanden zufriedenstellende Teilnahmebereitschaft ist auch der als Aufwandsentschädigung eingesetzte Gutschein über 20,- €. Dass Teilnahme-Entschädigungen den Anreiz für die Teilnahme an einer Studie erhöhen können, konnte auch schon in anderen Studien gezeigt werden. (Radon, Windstetter et al. 2005; White, Carney et al. 2005)

Daneben verdeutlicht die Teilnahmebereitschaft, dass das Interesse für das Thema möglicher Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit in der Bevölkerung hoch ist.

Je nach Studienort nahmen zwischen 46% (Augsburg) und 59% (Landsberg) der Kinder und Jugendlichen der angeschriebenen Familien teil. Die geringere Ausschöpfung in Augsburg könnte durch längere Anfahrtswege zum Studienzentrum bedingt sein. Da die Stichprobe in Augsburg - als zweitgrößtem Studienort – im Gegensatz zu München aus dem gesamten Stadtgebiet gezogen wurde, waren die Anfahrtswege z. T. mit einer längeren Zeitdauer verbunden. In München hingegen waren die Stadtteile u. a. so ausgesucht worden, dass sie in U-Bahnnähe zum Studienzentrum lagen und dieses relativ schnell erreicht werden konnten. Der Grund dafür, dass in Augsburg die Stichprobe aus dem gesamten Stadtgebiet gezogen wurde, lag daran, dass der Bürgermeister die Gesamtexposition für Augsburg –nach Stadtteilen- wissen wollte.

Die Beobachtung, dass die Teilnahmebereitschaft im kleinsten Studienort höher war als in den größeren Städten, deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien wie z.B. dem Kinder- und Jugendgesundheitssurvey (KiGGS). (Kamtsiuris, Lange et al. 2007).

Die potentiellen Studienteilnehmer wurden durch eine Zufallsstichprobe der Einwohnermeldeämter der vier Studienorte ausgewählt. In München wurde - wie oben beschrieben - die Auswahl auf bestimmte Stadtteile gelegt, die in der Nähe des Untersuchungszentrums lagen. Um bei der Auswahl dieser Stadtteile möglichst solche zu wählen, die repräsentativ für die Bevölkerung Münchens stehen, wurden Daten des Statistischen Amtes München verwendet. Die anderen drei Studienorte wurden so ausgewählt, dass verschiedene „Stadtgrößen“ vertreten sind (Großstadt, Kreisstadt, Kleinstadt). Es kann somit sein, dass die Ergebnisse auf Bewohner kleiner Orte in ländlicher Region nicht zu 100% übertragbar sind. Auf Grund der Machbarkeit sowie der benötigten Teilnehmerzahl wäre dies jedoch nicht durchführbar gewesen.

7.1.3. Vergleich von Teilnehmern und Nichtteilnehmern

Um eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse durch eine selektive Nichtteilnahme zu untersuchen, wurden die Angaben der Kurzfragebögen von Teilnehmern der 24-Stunden-Messung mit denjenigen verglichen, die nur den mit dem Einladungsschreiben zugeschickten Kurzfragebogen ausfüllten. Hierbei ist zu beachten, dass bei den Kindern die Eltern den Kurzfragebogen ausfüllten.

Dieser Vergleich der Fragebogenangaben zeigte, dass sich die teilnehmenden Eltern im Gegensatz zu den nicht teilnehmenden Eltern besorgter hinsichtlich der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zeigten. Bei den Jugendlichen ergaben sich die gleichen Ergebnisse. Daneben machten sowohl die teilnehmenden Eltern als auch die teilnehmenden Jugendlichen vermehrt Angaben, in welcher Entfernung sich die nächste Basisstation von der Wohnung befindet. Nichtteilnehmer wählten hingegen vermehrt die „weiss nicht“-Kategorie. Dass Personen, die angeben, in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation zu wohnen, auch eher besorgt sind, zeigte auch die QUEBEB-Studie (Berg, Breckenkamp et al. 2007).

Im gleichen Kontext ist wohl auch der Befund zu bewerten, dass sowohl bei den Eltern als auch bei den Jugendlichen der Anteil derer, die ein Mobiltelefon besaßen bei den Teilnehmern höher war als bei denjenigen, die nicht an der Untersuchung teilnahmen. Es ist somit davon auszugehen, dass eher diejenigen Eltern und deren Kinder sowie diejenigen Jugendlichen teilnahmen, die sich mit dem Thema Mobilfunk bereits beschäftigt haben.

Bei den Angaben zum Bildungshintergrund zeigte sich, dass vor allem Eltern und Jugendliche mit einer hohen Schulbildung an der Studie teilnahmen. Dass sich Personen mit einer hohen Bildung eher besorgt zeigen, konnten auch Ergebnisse anderer Studien bestätigen (Schreier, Huss et al. 2006; Berg, Breckenkamp et al. 2007; Institut für angewandte Sozialwissenschaft 2007).

Es ist somit insgesamt davon auszugehen, dass eher Eltern und Jugendliche mit einer hohen Schulbildung an der Studie teilnahmen, die sich mit dem Thema Mobilfunk und möglichen nachteiligen Effekten auf die Gesundheit auseinandergesetzt haben. Insofern könnte ein Selektionsbias dadurch vorliegen, dass eher die bzgl. elektromagnetischer Felder aus dem Mobilfunkbereich besorgten Probanden sowie diejenigen an der Messung teilgenommen haben, die glauben, höher exponiert zu sein. Aufgrund der objektiven Expositionserfassung ist eine Überschätzung möglicher Zusammenhänge jedoch unwahrscheinlich.

7.1.4. Fragebogeninstrumente

Die eingesetzten Fragebogeninstrumente waren gut verständlich und wurden trotz der verhältnismäßig langen Interviewdauer von den Teilnehmern gut akzeptiert. Der gesamte Fragebogen setzte sich aus validierten Erhebungsinstrumenten zusammen.

Die akuten Beschwerden wurden durch ein Symptomtagebuch erfasst, welches die Probanden an Hand einer Beschwerdeliste mit 8 Items zu drei verschiedenen Tageszeiten (morgens, mittags, abends) des Untersuchungstags ausfüllten. Die Beschwerden wurden nach der „Zerssen Beschwerdeliste“ gewählt (Zerssen 1976) und auf einer vierstufigen Likert-Skala bewertet.

Die Angaben zu den subjektiven Gesundheitsbeschwerden wurden nach den Fragen aus der HBSC-Studie (Health behaviour in school-aged children) ermittelt (Haugland

und Wold 2001). Dabei wurde mittels des Instrumentes die Häufigkeit von Beschwerden innerhalb der letzten sechs Monate erfragt.

Die allgemeine Umweltbesorgnis wurde für die Eltern der Kinder und die jugendlichen Teilnehmer mittels einer verkürzten Version der Skala zur Erfassung der Umweltbesorgnis erfasst. (Hodapp, Neuhan et al. 1996; Rethage, Eikmann et al. 2004) Bisher gibt es in Deutschland keine standardisierte Auswertungsmethode für den Vergleich zwischen hinsichtlich der Umwelt Besorgten und Nicht-Besorgten in der Allgemeinbevölkerung. Um dennoch eine Vergleichbarkeit der beiden Gruppen zu ermöglichen, wurde a priori festgelegt, für die Analyse am Median zu dichotomisieren. Ein Vorteil der Dichotomisierung am Median liegt darin, dass zwei gleich große Gruppen entstanden sind. Ein Nachteil besteht darin, dass durch die Dichotomisierung nähere Informationen verloren gehen und keine Dosis-Wirkungs-Beziehung untersucht werden kann. Da die Umweltbesorgnis in den Analysen „nur“ als Störgröße einging, spielt dieser Aspekt keine entscheidende Rolle. Da nicht auf eine standardisierte Auswertungsmethode zurückgegriffen werden konnte, ist dies beim Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien zu berücksichtigen.

Die Einstellungen zum Mobilfunk, die Einschätzung der Entfernung der Wohnung zur nächsten Basisstation sowie die Angaben zu Mobiltelefon- und DECT-Nutzung wurden aus dem Fragenkatalog der infas- Umfrage von 2003 zu Sorgen hinsichtlich elektromagnetischer Felder des Mobilfunks entnommen (Institut für angewandte Sozialwissenschaft 2003).

Bei den Fragen zur Soziodemographie wurde ebenfalls auf ein standardisiertes Erhebungsinstrument zurückgegriffen, da die Angaben analog Teilen der soziodemographischen Fragen des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys des Robert Koch-Instituts erfragt wurden (Robert Koch-Institut 2007).

Die Fragen zur explorativen Zusatzauswertung zur Hyperaktivität wurden mit Hilfe des standardisierten Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ) erhoben (Goodman 1997; Goodman, Meltzer et al. 1998; Klasen, Woerner et al. 2003).

Insgesamt wiesen die von uns ausgewählten, standardisierten und validierten Fragebogeninstrumente sowie das Symptomtagebuch zur Erfassung der akuten Beschwerden über die 24-Stunden-Messung eine hohe Akzeptanz bei den Probanden auf. Dies zeigte sich auch an der geringen Anzahl fehlender Werte für

fast alle Items. Die Fragebogeninstrumente eigneten sich daher gut für den Einsatz einer epidemiologischen Untersuchung mit der von uns gewählten Fragestellung.

Durch die Verwendung der Erhebungsinstrumente war ein Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer Studien generell möglich. Allerdings ist zu beachten, dass die Variablen -Ausnahme war die objektive Exposition- für die Analyse dichotomisiert wurden. Hierdurch wurde ein einheitliches Auswertekonzept verfolgt und die Lesbarkeit und Interpretation der Ergebnisse erleichtert.

7.1.5. Auswahl potenzieller Störgrößen (Confounder)

Als potenzielle Störgrößen wurden das Alter, das Geschlecht, die Schulbildung, die allgemeine Umweltbesorgnis, die Häufigkeit der Mobiltelefon- und DECT-Nutzung sowie die Entfernung zur nächsten Mobilfunkbasisstation in die Modelle der Hauptanalyse für die objektive Exposition aufgenommen. Die ursprünglich ebenfalls als potenzielle Confounder aufgenommen Variablen *Lebensqualität*, *Soziale Unterstützung*, *Psychische Gesundheit*, *Medienkonsum wochentags* und *Medienkonsum am Wochenende* wurden für die Analysen nicht in die Modelle aufgenommen, da sich bei einer bivariaten Überprüfung keine Zusammenhänge zur Exposition zeigten.

Die Modelle der Hauptanalysen wurden zusätzlich ohne die potenziellen Confounder „Häufigkeit der Mobiltelefon-Nutzung“, „Häufigkeit der DECT-Nutzung“ und „Entfernung zur nächsten Mobilfunkbasisstation“ berechnet. Dies führte zu keiner Änderung der Ergebnisse (Daten nicht gezeigt). Die einzige Ausnahme hierzu war in der Gruppe der Jugendlichen bei der Zielgröße „Chronische Gereiztheit“ zu sehen: Das höchste Expositionsquartil war im ursprünglichen Modell mit allen Confoundern nicht signifikant (OR=1,2 (0,9; 1,8)). Nach Weglassen der drei oben genannten Confounder war eine knapp statistisch signifikante Assoziation zwischen dem höchsten Expositionsquartil und der chronischen Gereiztheit zu beobachten (OR=1,5 (1,06; 2,1)).

7.1.6. Expositionserfassung mittels Personendosimetrie

Die objektive Mobilfunkexposition wurde mittels Personendosimetrie erfasst. Für die Berechnung der Gesamtexposition wurde diese in Quartile eingeteilt, um mögliche Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge erkennen zu können. Durch die Umrechnung in Form einer grenzwertbezogenen Feldstärke, ist ein Vergleich mit den in Deutschland geltenden Grenzwerten im Bereich des Mobilfunks möglich.

Durch die individuelle Expositionserfassung war eine personenbezogene Abschätzung der Mobilfunkbelastung der Kinder und Jugendlichen der Studie im Tagesprofil möglich. Daneben ermöglichte sie, die Expositionshöhe zu kategorisieren. Diese Art der Expositionserfassung stellt eine objektivere und validiertere Expositionsabschätzung gegenüber früheren Studien dar, in denen die Exposition vornehmlich durch eine subjektive Expositionsabschätzung der Probanden bzw. stationäre Messungen erfasst wurde (Santini, Santini et al. 2002; Navarro, Segura et al. 2003).

Ein Vorteil der Personendosimetrie besteht weiterhin darin, dass die Messgeräte einfach zu bedienen sind und sich ohne Probleme tragen lassen. Somit ermöglichen sie längere Messzeiträume, die auch die Mobilität der Probanden berücksichtigen. (Radon, Spegel et al. 2006; Neubauer, Feychting et al. 2007) Die Validität der Messungen wird jedoch reduziert, wenn sich ein Proband über eine längere Zeit an nur einem Ort aufhält oder das Gerät für längere Zeit ablegt (Radon, Spegel et al. 2006; Knafl, Lehmann et al. 2008). Daneben muss berücksichtigt werden, dass auf Grund der personenbezogenen Messung der Körper an sich einen Einfluss auf die gemessenen Werte haben kann. (Blas, Lago et al. 2007; Knafl, Lehmann et al. 2008)

Ein Nachteil des verwendeten Personendosimeters – im Gegensatz zum Dosimeter der Firma Antennessa - stellte die nicht ausreichend vorhandene Trennschärfe zwischen bestimmten Frequenzbereichen (z.B. GSM 1800, UMTS, DECT) dar. Aus diesem Grund konnten die einzelnen Frequenzbereiche nur kombiniert betrachtet und die Gesamtexposition kumuliert berechnet werden.

Insgesamt bieten Dosimeter jedoch eine bessere Möglichkeit als stationäre Messungen, um die individuelle Exposition von Probanden über einen Tag valide zu bestimmen. Das sowohl die Berechnung der Exposition durch Abstandsmessungen sowie stationäre Messungen die individuelle Exposition nicht ausreichend abbilden, ist mittlerweile hinreichend bekannt. (Friedman, Hatch et al. 1996; Schüz und Mann

2000; Warendorf, Michaelis et al. 2000; Blas, Lago et al. 2007; Bornkessel, Schubert et al. 2007; Neubauer, Feychting et al. 2007)

Bisher gibt es zwei Personendosimeter auf dem Markt, das für diese Studie verwendete Maschek-Dosimeter sowie das der Firma Antenessa. In der Pilotstudie wurden beide Geräte verglichen und überlegt, welches für den Einsatz in dieser Studie besser geeignet erscheint. Auf Grund der höheren Akzeptanz des Maschek-Dosimeters sowie der leichteren Bedienbarkeit wurde entschieden, dieses Dosimeter für die Studie zu verwenden. (Radon, Spegel et al. 2004; Spegel, Meyer et al. 2006)

Nächtliche Messwerte

Ein Problem stellten die nächtlichen Messwerte dar. Die Probanden befestigten das Messgerät während dieser Nacht an einer Flasche. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da die Akzeptanz, das Gerät während der Nacht am Arm zu tragen, sehr gering gewesen wäre. Durch das Befestigen an der Flasche stellte die während der Schlafenszeit durchgeführte Messung eine stationäre Messung dar. Innerhalb eines kleinen Raumes wie z.B. einem Schlafzimmer sind allerdings starke Schwankungen der Exposition möglich, welche nur erfasst werden können, wenn sich der Proband im Raum bewegt. Dies betrifft besonders eine höhere Exposition, wenn sich z.B. eine Basisstation in der Nähe befindet.

Um die Validität der nächtlichen Werte zu überprüfen, wurden die Kinder und Jugendlichen gebeten, vor der Ablage des Gerätes sowie vor dem erneuten Anlegen am Morgen jeweils einen zweiminütigen Rundgang zu absolvieren. Durch statistische Berechnungen wurde dann die Korrelation zwischen den ortsfesten Werten und den Werten während der Bewegung des Gerätes (Rundgang) überprüft. Da die Nachtwerte nicht ausreichend stark mit den Messwerten während des Schlafzimmer-Rundgangs korreliert waren, lässt sich an deren Validität zweifeln. Hier wird erneut deutlich, dass stationäre Messungen die Exposition nicht valide erfassen können.

Neben der statistischen Überprüfung wurden die Messgeräte beim TÜV-Süd geprüft, um u. a. festzustellen, wie valide die gemessenen Werte sind, wenn sich das Gerät über einen längeren Zeitraum an einer fixen Position befindet. Die Ergebnisse der Messungen zeigten ebenfalls, dass die Geräte keine validen Messwerte erzielen können, wenn sie an einer festen Position fixiert sind, sondern nur, wenn sie in Bewegung sind.

Auf Grund der Ergebnisse der statistischen Berechnungen sowie der Geräteüberprüfung beim TÜV-Süd wurde für die Berechnung der Gesamtexposition nur die kumulierte Wachexposition betrachtet. Die mangelnde Validität der Werte, wenn das Gerät nicht in Bewegung ist, sollte in zukünftigen Studien, die ebenfalls auf die Personendosimetrie als Expositionserfassungsmethode zurückgreifen, berücksichtigt werden.

7.2. Diskussion der statistischen Methoden

7.2.1. Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze

Zahlreiche Messwerte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei Messungen stellt sich stets die Frage, wie mit solchen Werten umzugehen ist. Im Bereich unterhalb der Nachweisgrenze eines Geräts kann nicht zuverlässig zwischen gemessenem Wert und Rauschen unterschieden werden; diese Werte werden daher im Kontext von Laboranalysen häufig als "nicht nachweisbar" bezeichnet (Schisterman, Vexler et al. 2006). Werte, die zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze liegen, weisen einen höheren Messfehler auf als Werte im höheren Bereich. Erst oberhalb der Bestimmungsgrenze können Messwerte quantitativ mit einer festgelegten Präzision bestimmt werden.

Häufig werden einfache Ersetzungsmethoden zur Substitution von Werten unterhalb von Nachweis- oder Bestimmungsgrenze angewandt. Dabei werden standardmäßig der Wert der Grenze oder die Hälfte der Grenze als Substitutionswerte eingesetzt (Lubin, Colt et al. 2004). Auch in dieser Studie wurden die unterhalb der Bestimmungsgrenze liegenden Messwerte mit der Hälfte der Bestimmungsgrenze ersetzt. Bei einer einfachen Ersetzung von Messwerten durch einen konstanten Wert kann es allerdings zu einer Überschätzung des Beitrags kleiner Messwerte zur Gesamtexposition und einer Verkleinerung der Spannweite in der Gesamtexposition führen. Die Berechnung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Exposition und gesundheitlichen Beschwerden kann auf diese Weise verzerrt werden. (Röösli, Frei et al. 2008)

Eine bessere Möglichkeit der Ersetzung bietet die statistische Methode der multiplen Imputation. Bei diesem Verfahren erhält man Substitutionswerte für die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze durch mehrfache Ziehung von Zufallszahlen aus

einer vorab bestimmten Verteilung. Die Umsetzung ist allerdings relativ aufwändig und setzt zum Teil eigene Programmierung voraus.

Unter Verwendung eines Teildatensatzes der Kinder wurden in der MobilEe-Studie verschiedene Methoden für den Umgang mit Messwerten unterhalb von Nachweis- und Bestimmungsgrenze verglichen. Zu diesem Zweck wurden die in einem logistischen Regressionsmodell für die Zielgröße "chronische Müdigkeit" berechneten Odds Ratios und Konfidenzintervalle der Expositionsvariable unter Verwendung verschiedener Substitutionsmethoden miteinander verglichen (Seidl 2008). Dabei wurde die Verwendung der Rohwerte, verschiedene einfache Substitutionsmethoden sowie eine auf Ersetzung mit Zufallszahlen aus der Lognormalverteilung beruhende multiple Imputationsmethode betrachtet. Es zeigte sich für keine Vorgehensweise auffallende Unterschiede in den Odds Ratios und den Konfidenzintervallen im Vergleich zu der hier verwendeten Methode, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Wahl der Substitutionsmethode für die Messdaten unterhalb der Bestimmungsgrenze keinen Einfluss auf die dargestellten Ergebnisse hatte.

7.2.2. Verwendung des mittleren prozentualen Anteils am Grenzwert als Expositionsmaß

Die Gesamtexposition während der Wachphase wurde als mittlerer prozentualer Anteil am Grenzwert berechnet. Dieses Vorgehen hatte den Vorteil, dass auch Probanden mit unterschiedlichen Dauern der Wachphase miteinander verglichen werden konnten. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass die für jeden Probanden erhobenen 86.400 Einzelwerte der sekundlichen Gesamtexposition in einer Maßzahl zusammengefasst wurden, so dass der Verlauf der Einzelmesswerte über die 24 Stunden nicht mehr nachvollzogen werden kann.

Daher wurde zusätzlich am Teildatensatz der Kinder ein Ansatz der funktionalen Datenanalyse betrachtet. Die grundlegende Idee bei der Analyse funktionaler Daten besteht darin, die beobachteten Messdaten eines Probanden nicht als Reihe von einzelnen Beobachtungen aufzufassen, sondern als eine Funktion. Mit Hilfe eines funktionalen Klassifikationsverfahrens konnte die Exposition in zwei Partitionen eingeteilt werden, die 90% bzw. 10% der Kinder enthielten und als niedrig bzw. höher exponierte Probanden interpretiert werden konnten. Diese Partitionen zeigten

eine sehr gute Übereinstimmung mit den Kategorien der am 90%-Perzentil aufgeteilten, als mittleren prozentualen Anteil am Grenzwert berechneten Gesamtexposition. Dementsprechend zeigten sich insgesamt keine Unterschiede bezüglich des Zusammenhangs zwischen Exposition und Beschwerden.

Die Ergebnisse des funktionalen Klassifikationsverfahrens verdeutlichen die Notwendigkeit der durchgeführten Sensitivitätsanalyse, in der die Exposition am 90%-Perzentil in zwei Kategorien eingeteilt wurde.

7.2.3. Einteilung der Exposition

Es wurde a priori im statistischen Auswertepan festgelegt, dass die Exposition in den Hauptanalysen kategorial betrachtet und dazu in Quartile eingeteilt wird. Diese Kategorisierung hat im Vergleich zu binären Einteilungen den Vorteil, dass mögliche Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge erkannt werden können.

Zusätzlich wurde zur Berechnung von Sensitivitätsanalysen eine Einteilung der Exposition am 90%-Perzentil vorgenommen. Diese binäre Kategorisierung wurde gewählt, da auf diese Weise die 10% der Probanden, die die höchste Exposition aufweisen, mit den restlichen Probanden verglichen werden konnten. Es wurde davon ausgegangen, dass mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition und den Beschwerden bei dieser Einteilung eher beobachtet werden können als bei einer Einteilung der Exposition in Quartile. Zudem deckte sich diese Einteilung gut mit den Ergebnissen der funktionalen Datenanalyse (vgl. Kapitel 7.2.2).

In einer weiteren zusätzlichen Sensitivitätsanalyse wurden die Regressionsmodelle zur Überprüfung eines möglichen linearen Zusammenhangs zwischen der objektiven Exposition und chronischen sowie akuten Symptomen mit der Exposition als stetiger Variable berechnet. Dabei zeigte sich in keinem der Modelle ein signifikanter Zusammenhang zwischen der stetigen Exposition und dem Befinden bei Kindern und Jugendlichen (Daten nicht gezeigt).

7.2.4. Aufteilung der Exposition in drei Frequenzbereiche

Als Sensitivitätsanalyse wurde die Auswertung zusätzlich getrennt für die drei Frequenzbereiche GSM-900, GSM-1800 (einschließlich UMTS und DECT) sowie

WLAN vorgenommen. Dabei wurden diese Bereiche der Exposition analog zur Gesamtexposition in Quartile eingeteilt.

Der Vorteil dieser Art von Auswertung liegt darin, dass ein möglicher Zusammenhang zwischen einzelnen Frequenzen bzw. Geräten im Bereich des Mobilfunks und gesundheitlichen Beschwerden untersucht werden kann.

Zudem kann überprüft werden, ob die Ergebnisse für die Zusammenhänge zwischen der getrennt für drei Frequenzbereiche ermittelten Expositionsvariablen und den Beschwerden untereinander sowie mit den Ergebnissen, die auf der Betrachtung der Gesamtexposition über alle Frequenzen beruhen, vergleichbar sind.

7.3. Diskussion der deskriptiven Ergebnisse

7.3.1. Angaben zu Mobiltelefon-Besitz und -Nutzung

Die Hälfte der Kinder und über 90% der Jugendlichen besaßen ein eigenes Mobiltelefon. Dieses Ergebnis deckt sich sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen mit solchen anderer sowohl deutscher als auch internationaler Studien (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2006; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2007; Mezei, Benyi et al. 2007; Söderqvist und Hardell 2007) und bestätigt die große Bedeutung des Mobiltelefons vor allem bei den Jugendlichen in der heutigen Zeit.

Bezogen auf das Nutzungsverhalten zeigte sich, dass die Jugendlichen im Gegensatz zu den Kindern ihr Mobiltelefon sowohl häufiger als auch länger nutzten. Dass das Nutzungsverhalten mit dem Alter ansteigt, zeigten auch andere Studien (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest 2007; Söderqvist und Hardell 2007).

Im Hinblick auf die Nutzung des DECT-Telefons ergab sich ebenfalls, dass die Jugendlichen längere und häufiger ein schnurloses Telefons nutzten als die Kinder. So telefonierten die meisten Kinder weniger als 5 Minuten pro Tag, wohingegen die meisten Jugendlichen angaben, mehr als 30 Minuten täglich zu telefonieren.

7.3.2. Exposition der Kinder und Jugendlichen gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunkbereichs

Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, dass die gemessenen Werte für alle Probanden weit unterhalb der in Deutschland festgelegten Grenzwerte lagen. Das Expositionsminimum von 0,13% des Grenzwertes entspricht der Gesamtexposition, die sich ergibt, wenn ein Großteil der Werte des Probanden unterhalb des messbaren Bereichs liegt und durch die Hälfte der Bestimmungsgrenze (0,025 V/m) ersetzt wird.

Die Verteilung der Exposition war für Kinder und Jugendliche ähnlich. Obwohl der Maximalwert bei den Kindern höher lag, wiesen die Jugendlichen eine etwas höhere mittlere Gesamtexposition auf als die Kinder. Maximal lag der mittlere prozentuale Anteil der Wachexposition am ICNIRP-Grenzwert bei 0,92%. In beiden Gruppen war die Exposition nachmittags höher als am Vormittag.

Somit lässt sich für die typische Exposition der Kinder und Jugendlichen in Bayern feststellen, dass sie insgesamt sehr niedrig ist. Auch in der Pilotstudie (Radon et al. 2004) sowie in der von uns durchgeführten Erwachsenenstudie (Thomas et al. 2008) ergaben sich vergleichbare niedrige Messwerte bei den Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. In der QUEBEB-Studie, ergaben sich für die Allgemeinbevölkerung ebenfalls Werte weit unterhalb der geltenden Grenzwerte. (Berg, Breckenkamp et al. 2007)

Spitzen der Exposition gegenüber Mobilfunk entstehen z.B. kurzfristig durch Mobiltelefonnutzung sowie wenn zwei Personen nebeneinander in der Bahn sitzen und eine Person telefoniert. Wie auch schon die beiden zuvor genannten Studien zeigten, gehen diese Eigentelefonate in die individuellen Messwerte kaum ein, da die wenigsten Menschen über längere Zeiträume mit dem Mobiltelefon telefonieren. Auch die Kinder und Jugendlichen gaben an, dass sie während des Untersuchungstages größtenteils weniger als 5 Minuten telefoniert hatten.

Sowohl aus stationären Messungen als auch aus der Erwachsenenstudie ist bekannt, dass die Exposition von der Größe des Studienorts abhängt (Berg, Breckenkamp et al. 2007; Thomas, Kühnlein et al. 2008). Dies konnte in unserer Studie ebenfalls reproduziert werden: Je kleiner der Studienort war, umso geringer war die gemessene Exposition. Münchner Probanden wiesen demnach die höchste

Gesamtexposition auf. In Augsburg wiederum wiesen die Probanden eine höhere Exposition auf als in Rosenheim und Landsberg.

7.3.3. Mobilfunkbesorgnis

Auffallend ist, dass sich über die Hälfte der Eltern der Kinder (54%) besorgt hinsichtlich der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zeigte. Im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung mit 30% Besorgten ist diese Prävalenz relativ hoch. (Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2006) Auch bei den Jugendlichen fiel der Anteil mit 24% im Vergleich zu anderen Studien höher aus. So zeigten sich bspw. in der vom Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) nur 14% der 14-17-Jährigen als besorgt (Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2007).

Dies lässt, wie oben bereits diskutiert, vermuten, dass eher die bzgl. Mobilfunkfeldern besorgten Probanden an der Messung teilgenommen haben. Dadurch, dass mehr Besorgte an der Studie teilnahmen, könnte ein Selektions-Bias vorliegen, der zu einer Überschätzung der Ergebnisse führen könnte. Da die Probanden ihre wahre Exposition jedoch nicht kannten, ist mit keiner Überschätzung der Exposition zu rechnen.

Bei der Frage nach der Quelle der Besorgnis machten die Eltern sich mehr Sorgen hinsichtlich der Basisstation als hinsichtlich des Mobiltelefons. Dass das Risiko durch Mobilfunkbasisstationen höher bewertet wurde als das Risiko durch Mobiltelefone könnte darin begründet sein, dass die Basisstation eher abgelehnt wird, da man sich der Exposition nicht entziehen kann und man hier die höchste kumulierte Strahlenbelastung befürchtet. Das Mobiltelefon hingegen wird akzeptiert, da man die eigene Nutzung selbst bestimmen kann und auch die Nutzung der Kinder kontrollieren kann. (z.B. Revermann 2003) Bei den Jugendlichen zeigte sich ein anderes Bild, diese zeigten sich am meisten besorgt hinsichtlich der Exposition durch das Mobiltelefon selbst. Dies könnte wiederum daran liegen, dass sie das Mobiltelefon in ihrem Alltag viel mehr wahrnehmen als eine Mobilfunkbasisstation.

Der Anteil derjenigen, die die Ursache für Symptome in den elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks sehen (Elektrosensible), fiel bei den Eltern mit 12% im Vergleich anderen Studien hoch aus. (Röösli, Moser et al. 2004) So war der Anteil beispielweise im Vergleich zur infas-Umfrage, in der der Anteil der Elektrosensiblen in der bundesdeutschen Gesamtbevölkerung bei 6% lag, halb so hoch (Institut für

angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2007). Auch in der QUEBEB-Studie war der Anteil mit 10% geringer (Berg, Breckenkamp et al. 2007).

Allerdings wurde in diesen beiden Studien eine regionale Häufung von Elektrosensiblen im Südwesten Deutschlands beobachtet. Im Vergleich zu den Zahlen für Bayern fallen selbige in der infas-Umfrage (34%) sowie in der QUEBEB-Studie (13%) sogar höher aus als in unserer Studie ((Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) 2006; Berg, Breckenkamp et al. 2007).

7.3.4. Selbst eingeschätzte Exposition

Bei der selbst eingeschätzten Exposition durch Mobilfunkbasisstationen gab sowohl der überwiegende Teil der Eltern der Kinder als auch der der Jugendlichen an, dass die Basisstation weniger als 500 Meter von der Wohnung entfernt sei. Wie schon bei der Mobilfunkbesorgnis beschrieben, schätzen Personen, die sich Sorgen wegen möglicher Effekte durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks machen, die Entfernung der Wohnung zur nächsten Basisstation generell geringer ein (Berg, Breckenkamp et al. 2007).

Insgesamt ist in diesem Zusammenhang noch einmal darauf hinzuweisen, dass der selbst eingeschätzte Abstand zur nächsten Basisstation kein geeignetes Maß für die Expositionserfassung darstellt, da Probanden ihre tatsächliche Exposition größtenteils nicht richtig einschätzen können.

7.3.5. Akute und chronische Beschwerden

Bei den chronischen Beschwerden war die höchste Prävalenz sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen erwartungsgemäß bei der Beschwerde „Müdigkeit“ zu verzeichnen, gefolgt von den Beschwerden „Gereiztheit“ und „Einschlafproblemen“ bei den Kindern sowie „Nervosität“ bei den Jugendlichen.

Auch in zwei deutschen Teilstudien der HBSC-Studie (Health behaviour in school aged children) gaben die meisten der Befragten an, unter Müdigkeit, Gereiztheit und Einschlafstörungen zu leiden (Becker 2002; Ravens-Sieberer und Thomas 2003).

Bei den akuten Beschwerden wurde „Müdigkeit am Abend“ sowohl von den Kindern als auch von den Jugendlichen am häufigsten genannt gefolgt von „Konzentrationsproblemen am Abend“. In zwei Studien zu möglichen Effekten von

elektromagnetischen Feldern auf das Befinden der Untersuchten, wurde Müdigkeit ebenfalls als eine der häufigsten Beschwerden angegeben (Röösli, Moser et al. 2004; Schüz, Petters et al. 2004). Dass die „Müdigkeit am Abend“ die höchste Prävalenz aufwies, ist nicht überraschend, da die Kinder und Jugendlichen gebeten wurden, das Symptomtagebuch kurz vor dem Schlafengehen auszufüllen und somit davon auszugehen ist, dass die meisten zu diesem Zeitpunkt auch müde waren.

7.4. Ergebnisse der logistischen Regression

Auf Grund der vielen durchgeführten Analysen sind für einen besseren Überblick in den folgenden Tabelle 83-85 die beobachteten, signifikanten Zusammenhänge aus den verschiedenen Analysen nochmals zusammengefasst.

Ergebnisse der logistischen Regression für die objektiv gemessene Exposition

Betrachtet man die Zusammenhänge zwischen der objektiven Exposition und den akuten sowie chronischen Beschwerden ergaben sich nur bei den akuten Beschwerden zwei signifikante Zusammenhänge, die wiederum auf ein Quartil beschränkt waren.

Auf Grund des multiplen Testes für den Zusammenhang zwischen der Exposition und den verschiedenen Zielgrößen müsste eine Bonferroni-Korrektur¹⁰ durchgeführt werden. Durch diese Korrektur würden die Ergebnisse, die knapp statistisch signifikant waren, nicht mehr signifikant werden.

Ergebnisse der logistischen Regression für die subjektiv eingeschätzte Exposition

Bei der subjektiven Expositionsabschätzung zeigten sich vereinzelt signifikante Zusammenhänge. Personen mit Beschwerden schätzen ihre Exposition systematisch höher ein, subjektiv höher exponierte Personen berichteten häufiger über Beschwerden. Dies ist ein in der Umweltepidemiologie vielfach beobachtetes Phänomen (Berg, Breckenkamp et al. 2007; Bullinger und Guski 1997). Somit ist davon auszugehen, dass die signifikanten Ergebnisse bei der subjektiven Exposition durch eine mögliche Überbewertung der Beschwerden sowie eine Überbewertung der selbsteingeschätzten Exposition zu erklären sein könnten.

¹⁰ Die Wahrscheinlichkeit mindestens einen Fehler 1. Art zu begehen, wächst mit den Anzahl der durchgeführten statistischen Tests. Um eine solche Überschreitung der vorgegebenen Fehlerwahrscheinlichkeit zu vermeiden, kann die Bonferroni-Korrektur angewendet werden. Hierbei wird jeder Test zum Niveau α/k statt zum Niveau α durchgeführt, wobei k die Anzahl von unabhängigen Tests ist.
Fahrmeier, L., R. Künstler, et al. (2003). Statistik - Der Weg zur Datenanalyse. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.

Tabelle 83: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Exposition in Quartilen und chronischen sowie akuten Beschwerden für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen (Odds Ratio mit 95% Konfidenzgrenzen)

Zielgröße	Chronische Beschwerden		Akute Beschwerden am Mittag		Akute Beschwerden am Abend	
	Kinder	Jugendliche	Kinder	Jugendliche	Kinder	Jugendliche
Kopfschmerzen	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Gereiztheit	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1.5 (1.03-2.3) (4. Quartil)
Nervosität	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Schwindel	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Müdigkeit	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Konzentrationsprobleme	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1.6 (1.04-2.4) (4. Quartil)	n. s.

n. s.: nicht signifikant (die Tests waren für alle Quartile nicht signifikant)

Tabelle 84: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der selbst eingeschätzten Entfernung zur nächsten Basisstation und chronischen Beschwerden für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen (Odds Ratio mit 95% Konfidenzgrenzen)

Zielgröße	Chronische Beschwerden	
	Kinder	Jugendliche
Kopfschmerzen	n. s.	1,4 (1,0003-1,8)
Gereiztheit	n. s.	1,4 (1,1-1,8)
Nervosität	n. s.	n. s.
Schwindel	n. s.	n. s.
Müdigkeit	n. s.	n. s.
Einschlafprobleme	n. s.	n. s.
Angst	n. s.	n. s.

n. s.: nicht signifikant

Tabelle 85: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Mobiltelefon- und DECT-Nutzung und akuten Beschwerden für die Gruppe der Kinder und Jugendlichen (Odds Ratio mit 95% Konfidenzgrenzen)

Zielgröße	Akute Beschwerden am Mittag				Akute Beschwerden am Abend			
	Kinder		Jugendliche		Kinder		Jugendliche	
	<i>DECT</i>	<i>Mobiltelefon</i>	<i>DECT</i>	<i>Mobiltelefon</i>	<i>DECT</i>	<i>Mobiltelefon</i>	<i>DECT</i>	<i>Mobiltelefon</i>
Kopfschmerzen	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Gereiztheit	1,9 (1,2-3,2)	n. s.	n. s.	1,6 (1,1-2,4)	n. s.	n. s.	1,5 (1,1-1,9)	n. s.
Nervosität	2,0 (1,2-3,5)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Schwindel	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Müdigkeit	n. s.	n. s.	n. s.	1,8 (1,2-2,6)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Konzentrationsprobleme	2,0 (1,3-3,1)	n. s.	n. s.	n. s.	1,8 (1,3-2,5)	n. s.	n. s.	n. s.

n. s.: nicht signifikant

7.4.1. Assoziation zwischen der gemessenen, personenbezogenen Gesamtexposition und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen

Im Rahmen der Studie wurde jeder Proband sowohl im persönlichen Interview (chronische Beschwerden) als auch im Symptomtagebuch (akute Beschwerden) nach möglichen Beschwerden befragt, die im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern genannt werden wie z.B. Kopfschmerzen oder Müdigkeit. Diese Exposition wurde zunächst zusammengefasst (kumuliert) und in Quartile eingeteilt.

Ebenso wie in unserer Pilotstudie und unserer Studie an Erwachsenen zeigte sich insgesamt keine Assoziation zwischen der objektiv gemessenen Gesamtexposition gegenüber Feldern des Mobilfunkbereichs und dem chronischen Befinden während der letzten 6 Monate (Radon, Spiegel et al. 2004; Thomas, Kühnlein et al. 2008).

Bei den akuten Beschwerden während des Untersuchungstages konnte bei den Kindern ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Nachmittagsexposition und Konzentrationsproblemen am Abend (OR: 1,6; KI: 1,04-2,4) sowie bei den Jugendlichen zwischen der Nachmittagsexposition und Gereiztheit am Abend (OR: 1,5; KI: 1,03-2,3) beobachtet werden. Für die restlichen betrachteten akuten Beschwerden zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der objektiv gemessenen Exposition und den akuten Beschwerden am Untersuchungstag

Insgesamt ergaben sich auf Grund dieser Befunde keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der objektiv gemessenen Exposition und den Zielgrößen. Auf Grund dessen, dass lediglich zwei Ergebnisse statistisch signifikant waren (s. o.) ist davon auszugehen, dass es sich um einen Zufallsbefund bzw. um einen Befund auf Grund multiplen Testens handelt.

In einer Zusatzauswertung wurde der mögliche Zusammenhang zwischen der objektiv gemessenen Exposition und Hyperaktivität (ADHS) überprüft. Die Ergebnisse zeigten, dass 4% der Kinder und 5% der Jugendlichen als hyperaktiv eingestuft werden konnten. Bei den Kindern waren Jungen eher hyperaktiv als Mädchen. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen des Kinder- und Jugendgesundheits surveys (Schlack, Hölling et al. 2007).

Bei den Jugendlichen zeigte sich tendenziell eine mit der Expositionshöhe steigende Prävalenz der Hyperaktivität. Dieses Ergebnis war jedoch nicht statistisch signifikant und scheint eher ein Zufallsbefund zu sein, da Hyperaktivität schon im Kindesalter auftritt und in der Altersgruppe kein Zusammenhang zu beobachten war. Eine kürzlich veröffentlichte Studie zeigte einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Exposition durch elektromagnetische Felder und der Hyperaktivität bei Kindern (Divan, Kheifets et al. 2008). Da dies bisher die einzige Studie ist, die sich explizit mit dem Zusammenhang zwischen der Exposition durch elektromagnetische Felder und Hyperaktivität beschäftigt, und die Autoren anmerken, dass es bisher keinen biologischen Wirkungsmechanismus gibt, der das Ergebnis erklären könnte, muss dem Zusammenhang weiter nachgegangen werden.

7.4.2. Assoziation zwischen der selbsteingeschätzten Exposition und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen

Bezogen auf die subjektive Exposition lassen sich sowohl bei den Kindern als auch bei den Jugendlichen signifikante Zusammenhänge mit einigen Beschwerden beobachten. Die Ergebnisse bestätigen die von anderen teilweise beschriebenen Zusammenhänge zwischen der selbsteingeschätzten Entfernung der Wohnung zu Mobilfunkbasisstationen bzw. der selbstbeschriebenen Nutzungshäufigkeit von Mobiltelefonen und dem Auftreten von Symptomen (Santini, Santini et al. 2002; Navarro, Segura et al. 2003; Zwamborn, Vossen et al. 2003).

Bei den Kindern konnte ein Zusammenhang zwischen der DECT-Nutzung am Vormittag und drei akuten mittäglichen Beschwerden (Gereiztheit, Nervosität und Konzentration) beobachtet werden. Da die Kinder in der Regel die Zeit vor dem Ausfüllen des Beschwerdetagbuchs in der Schule verbracht haben, ist es eher unwahrscheinlich, dass die mit einem DECT-Telefon telefoniert haben. Es scheinen eher die Kinder zu sein, die entweder krank zu Hause waren und daher telefoniert haben oder eventuell Kinder, deren Eltern berufstätig sind und die nach der Schule vor dem Ausfüllen zunächst die Eltern angerufen haben, um z.B. von einer schlechten Note zu erzählen, was ein Hinweis für die Gereiztheit am Mittag sein könnte.

Einen Zusammenhang zwischen der Einschätzung der Entfernung der Basisstation und Kopfschmerzen konnte auch in drei anderen Studien beobachtet werden

(Sandström, Wilen et al. 2001; Santini, Santini et al. 2002; Navarro, Segura et al. 2003). So zeigte sich bspw. in der von Hutter et al. durchgeführten Studie für Probanden der höchsten Expositions-kategorie eine statistisch signifikant höhere Prävalenz für Kopfschmerzen. Andere Studien hingegen konnten keine Zusammenhänge finden (Berg, Breckenkamp et al. 2007; Heinrich, Ossig et al. 2007). Hier sei noch einmal darauf hinzuweisen, dass der selbst eingeschätzte Abstand zu einer Mobilfunk-Basisstation kein geeignetes Maß für die Expositionsabschätzung darstellt.

Insgesamt wird daneben erneut deutlich, wie wichtig eine valide, objektive Expositionsabschätzung ist, da die beobachteten Zusammenhänge bei der selbsteingeschätzten Exposition bei der objektiv gemessenen Exposition nicht beobachtet werden konnten. In diesem Zusammenhang ist noch einmal auf die Beobachtung hinzuweisen, dass subjektiv höher exponierte Personen häufiger über Beschwerden berichten, obwohl die objektiv gemessene Exposition niedrig war.

7.4.3. Assoziation zwischen der gemessenen, personenbezogenen Exposition getrennt nach Frequenzbereich und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen

Bei einer der Sensitivitätsanalysen wurde die Wachexposition getrennt für die drei Frequenzbereiche des D-Netz, E-Netz (einschließlich UMTS und DECT) und WLAN berechnet und in Quartile eingeteilt.

Bei den Kindern zeigte sich kein Dosis-Wirkungszusammenhang zwischen der WLAN Exposition am Vormittag und „Konzentration am Mittag“. Allerdings berichteten Kinder mit einer Exposition im 4. Quartil häufiger über Konzentrationsprobleme. Eine nachmittägliche Exposition im 3. und 4. Quartil des WLAN Bereichs war bei den Jugendlichen hingegen invers mit abendlicher Müdigkeit assoziiert. Da es bisher keine Studien gibt, die sich mit möglichen gesundheitlichen Effekten durch WLAN-Exposition auf die Gesundheit befasst haben, können die Ergebnisse nicht mit anderen verglichen werden.

Bei Kindern mit einer Exposition im 2. Quartil zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der D-Netz Exposition am Vormittag und „Müdigkeit am Mittag“. Bei den Jugendlichen berichteten diejenigen mit einer vormittäglichen D-Netz Exposition im 4.

Quartil signifikant häufiger „Gereiztheit am Mittag“. Wie beim WLAN gibt es auch in Bezug auf die Gereiztheit keine vergleichbare Studie, die diese Symptome näher untersucht haben. Bei beiden Beschwerden ergab sich jedoch keine Dosis-Wirkungsbeziehung.

Des Weiteren zeigte sich, dass die Kinder mit einer Nachmittagsexposition im 4. Quartil des E-Netz Bereiches signifikant häufiger über akute Konzentrationsprobleme am Abend berichteten. Darüber hinaus konnte ein Dosis-Wirkungszusammenhang gezeigt werden.

An dieser Stelle sei noch einmal auf das Problem des multiplen Testens hinzuweisen und der Notwendigkeit einer Bonferroni-Korrektur, durch welche die Ergebnisse, die knapp statistisch signifikant waren, nicht mehr signifikant wären.

Zusammenfassend sollte erwähnt werden, dass von insgesamt 38 berechneten Regressionsmodellen insgesamt nur 6 signifikante Ergebnisse beobachtet werden konnten und diese somit höchstwahrscheinlich auf Zufallsbefunde hindeuten.

7.4.4. Assoziation zwischen der gemessenen, personenbezogenen Exposition und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen – Einteilung der Wachexposition am 90%-Perzentil

Bei einer weiteren Sensitivitätsanalyse wurde die Wachexposition am 90%-Perzentil in zwei Kategorien eingeteilt.

Bei den Kindern konnte bei dieser Analyse ein inverser Zusammenhang zwischen der Exposition und „Schwindel am Mittag“ sowie eine positive Assoziation zwischen der Exposition am Nachmittag „Schwindel am Abend“ beobachtet werden. Dieses Ergebnis scheint zufällig zu sein, da es nur für die eine Beschwerde und nur für die Einteilung am 90er Perzentil bestätigt werden konnte und darüber hinaus selbst auf die eine Beschwerde bezogen kein konsistentes Ergebnis zeigt.

7.4.5. Assoziation zwischen den erfassten Störgrößen und akutem sowie chronischem Befinden der Kinder und Jugendlichen

In den Regressionsmodellen mit der gemessenen Exposition als Einflussgröße zeigte sich bei den Jugendlichen meist ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Umweltbesorgnis und den berichteten Beschwerden. Diese Assoziation war für die jugendlichen Teilnehmer bei allen chronischen Beschwerden mit Ausnahme der Gereiztheit zu beobachten. Der Zusammenhang zeigte sich auch bei allen akuten Beschwerden entweder mittags oder abends; bei den Zielgrößen Schwindel und Müdigkeit war er sogar zu beiden Tageszeiten zu beobachten. Somit zeigte sich übereinstimmend für die betrachteten Beschwerden, dass die Jugendlichen, die eine hohe Umweltbesorgnis angaben, auch häufiger über chronische und akute Beschwerden berichteten. Dies deutet darauf hin, dass Jugendliche, die allgemein besorgt über mögliche schädliche Einflüsse aus der Umwelt sind, sensibler für auftretende Beschwerden sind und diese möglicherweise auch überbewerten.

In der Gruppe der Kinder war diese Assoziation in den meisten Fällen nicht zu beobachten. Dies liegt vermutlich daran, dass in dieser Gruppe die Umweltbesorgnis der Eltern und nicht die der Probanden selbst erfragt wurde.

Für die anderen Confounder (Alter, Geschlecht, Schulbildung, Häufigkeit der Mobiltelefon- und DECT-Nutzung, Entfernung zur nächsten Mobilfunkbasisstation) zeigten sich keine Zusammenhänge, die für alle betrachteten Beschwerden konsistent waren.

7.4.6. Ausblick

In der MobilEe-Studie zeigten sich insgesamt keine statistisch signifikanten konsistenten Zusammenhänge zwischen der gemessenen Exposition und den betrachteten chronischen und akuten Beschwerden bei Kindern und Jugendlichen.

Da aus Querschnittsstudien allerdings keine kausalen Zusammenhänge abgeleitet werden können, wäre die Verwendung eines Kohortendesign für zukünftige Studien zu diesem Thema ein interessanter Ansatz. Bei diesem Design können Änderungen in der Expositionshöhe und daraus resultierende Änderungen in den Beschwerden über einen längeren Zeitraum erfasst werden.

Ein weiterer kritischer Aspekt an der MobilEe-Studie war, dass nur subjektiv berichtete Outcomes untersucht wurden. Es wäre daher wünschenswert, wenn in weiteren Untersuchungen auch klinische Parameter als objektive Zielgrößen betrachtet würden.

Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund, dass sich in der Gruppe der Jugendlichen bei den explorativen Analysen tendenziell eine mit der objektiven Expositionshöhe steigende Prävalenz der Hyperaktivität zeigte. Zur weiteren Überprüfung dieses Zusammenhangs wäre zunächst die Durchführung einer Fall-Kontroll-Studie notwendig. Hierbei sollte die Hyperaktivität über eine ärztliche Diagnose objektiviert werden. Sollte sich in einer solchen Fall-Kontroll-Studie der Zusammenhang bestätigen, sollte über weitere Schritte nachgedacht werden.

Literaturverzeichnis

- Aalto, S., C. Haarala, et al. (2006). "Mobile phone affects cerebral blood flow in humans." Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism **26**(7): 885-890.
- Ahlbom, A., A. Green, et al. (2004). "Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure." Environmental Health Perspectives **112**(17): 1741-1754.
- Andersson, B., M. Berg, et al. (1996). "A cognitive-behavioral treatment of patients suffering from "Electric Hypersensitivity"." Journal of Occupational and Environmental Medicine **38**(8): 752-758.
- Arnetz, B. B. und C. Wiholm (1997). "Technological stress: psychophysiological symptoms in modern offices." Journal of Psychosomatic Research **43**(1): 35-42.
- Barth, A., R. Winker, et al. (2008). "A meta-analysis for neurobehavioural effects due to electromagnetic field exposure emitted by GSM mobile phones." Occupational and Environmental Medicine **65**(5): 342-346.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) (2007). Mobilfunk: Mobilfunkbasisstationen und menschliche Befindlichkeit. Band 18. Erlangen.
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU) (2007). Vergleich der von GSM900-Mobilfunk ausgehenden elektromagnetischen Felder an verschiedenen Standorten in Oberammergau - Messung vom 01.02.2007. In: <http://www.lfu.bayern.de/laerm/emv/oberammergau/index.html>. Augsburg.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (2002). Fachinformation: Elektromagnetische Felder.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (2006). Die neue Mobilfunkgeneration UMTS. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (2007). Mobilfunk. München.
- Becker, U. (2002). Die Ergebnisse der WHO- Gesundheitsstudie 2002 in Hessen. Frankfurt am Main.
- Berg, G., J. Breckenkamp, et al. (2007). Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Basisstationen und Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Berg, G., J. Breckenkamp, et al. (2004). Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen - Zwischenbericht zum Abschluss der Pilotphase. Editor. Bielefeld, Heidelberg, Mainz, München.
- Berg, G., J. Schuz, et al. (2004). "Assessment of radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study: German Validation study of the international case-control study of cancers of the brain- INTERPHONE-Study." Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology.
- Berg, M. und B. B. Arnetz (1996). "An occupational study of employees with VDU-associated symptoms: the importance of stress." Stress Medicine **12**: 51-54.
- Berg, M., B. B. Arnetz, et al. (1992). "Techno-Stress: A psychophysiological study of employees with VDU-associated skin complaints." JOM **34**(7): 698-701.

- Bergdahl, J. (1995). "Psychologic aspects of patients with symptoms presumed to be caused by electricity or visual display units." Acta Odontologica Scandinavica **53**: 304-310.
- Bergqvist, U., E. Vogel, et al. (1998). Mögliche gesundheitliche Folgen subjektiver Beschwerden und elektromagnetischer Felder - Bericht einer europäischen Sachverständigengruppe für die Europäische Kommission. Dortmund.
- Besset, A., F. Espa, et al. (2005). "No Effect on Cognitive Function From Daily Mobile Phone Use." Bioelectromagnetics **26**: 102-108.
- Blas, J., F. A. Lago, et al. (2007). "Potential exposure assessment errors associated with body-worn RF dosimeters." Bioelectromagnetics **28**(7): 573-576.
- Blettner, M., G. Berg, et al. (1999). Untersuchung zur Machbarkeit von epidemiologischen Studien zur Nutzung von Mobiltelefonen, der nicht-beruflichen Exposition durch Mobilfunk-Basisstationen und dem Auftreten von Tumoren im Kopfbereich und anderen gesundheitsschäden - Abschlussbericht der Feasibility - Studie. Bielefeld, Heidelberg, Mainz.
- Borbely, A. A., R. Huber, et al. (1999). "Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram." Neuroscience Lett **275**(3): 207-210.
- Bornkessel, C., M. Schubert, et al. (2007). "Determination of the general public exposure around GSM and UMTS base stations." Radiation Protection Dosimetry **124**(1): 40-47.
- Bornkessel, C., M. Schubert, et al. (2007). "Elektromagnetische Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von GSM- und UMTS-Basisstation." EMV-Magazin: 34-41.
- Braune, S., A. Riedel, et al. (2002). "Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals." Radiation Research **158**(3): 352-356.
- Bullinger, M. und R. Guski (1997). "Befindlichkeitsstörungen durch Umweltbelastungen - Gegenstand gesundheitswissenschaftlicher Forschung." Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften **3**: 49-66.
- Bullinger, M., S. von Mackensen, et al. (1994). "KINDL - Ein Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von Kindern." Sonderdruck Zeitschrift für Gesundheitspsychologie **1**: 64-77.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2005). Strahlenthemen.
- Chia, S. E., H. P. Chia, et al. (2000). "Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: a community study." Environmental Health Perspectives **108**(11): 1059-1062.
- Cinel, C., A. Boldini, et al. (2007). "Effects of mobile phone electromagnetic fields on an auditory order threshold task." Bioelectromagnetics **28**(6): 493-496.
- Curcio, G., M. Ferrara, et al. (2004). "Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature." Neuroreport **15**(1): 161-164.
- Danker-Hopfe, H. und H. Dorn (2005). "Biological effects of electromagnetic fields at mobile phone frequencies on sleep: Current state of knowledge from laboratory studies." Somnologie **9**: 192-198.
- David, E., J. Reußenweber, et al. (2002). "Das Phänomen der Elektrosensibilität." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **7**(1): 7-16.
- Divan, H., L. Kheifets, et al. (2008). "Prenatal and Postnatal Exposure to Cell Phone Use and Behavioral Problems in Children." Epidemiology **19**(4): 523-529.
- Donald, C. und J. Ware (1984). "The measurement of social support." Research in Community and Mental Health **4**: 325-370.

- Eberlein-König, B., B. Przybilla, et al. (2002). "Multiple chemical sensitivity (MCS) and others: allergological, environmental and psychological investigations in individuals with indoor air related complaints." International Journal of Hygiene and Environmental Health **205**(3): 213-220.
- Edelstyn, N. und A. Oldershaw (2002). "The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention." Neuroreport **13**(1): 119-121.
- Eliyahu, I., R. Luria, et al. (2006). "Effects of Radiofrequency Radiation Emitted By Cellular Telephones on the Cognitive Functions of Humans." Bioelectromagnetics **27**: 119-126.
- Eltiti, S., D. Wallace, et al. (2007). "Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study." Environmental Health Perspectives **115**(11): 1603-1608.
- Eltiti, S., D. Wallace, et al. (2007). "Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire." Bioelectromagnetics **28**(2): 137-151.
- Erhart, M., H. Hölling, et al. (2007). "Der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS): Risiken und Ressourcen für die psychische Entwicklung von Kindern und Jugendlichen." Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz **50**: 800-809.
- Fahrmeier, L., R. Künstler, et al. (2003). Statistik - Der Weg zur Datenanalyse. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
- Fendrich, K., M. Vennemann, et al. (2007). "Headache prevalence among adolescents--the German DMKG headache study." Cephalalgia **27**(4): 347-354.
- Frick, U., A. Kharraz, et al. (2005). "Comparison Perception of Singular Transcranial Magnetic Stimuli by Subjectively Electrosensitive Subjects and General Population Controls." Bioelectromagnetics **26**: 287-298.
- Frick, U., M. Mayer, et al. (2006). "Entwicklung eines deutschsprachigen Messinstruments für "Elektrosmog-Beschwerden"." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **11**(2): 103-113.
- Frick, U., J. Rehm, et al. (2002). "Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields--a randomized survey study." International Journal of Hygiene and Environmental Health **205**(5): 353-360.
- Friedman, D., E. Hatch, et al. (1996). "Childhood Exposure to Magnetic Fields: Residential Area Measurements Compared to Personal Dosimetry." Epidemiology **7**(2): 151-155.
- Fritzer, G., R. Goder, et al. (2007). "Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects." Bioelectromagnetics **28**(4): 316-325.
- Goodman, R. (1997). "The Strengths and Difficulties Questionnaire: a research note." Journal of Child Psychology and Psychiatry **38**(5): 581-586.
- Goodman, R., H. Meltzer, et al. (1998). "The Strengths and Difficulties Questionnaire: A pilot study on the validity of the self-reported version." European Child & Adolescent Psychiatry **7**: 125-130.
- Haarala, C., M. Bergman, et al. (2005). "Electromagnetic Field Emitted by 902 MHz Mobile Phones Shows No Effects on Children's Cognitive Function." Bioelectromagnetics Supplement **7**: 144-150.

- Haarala, C., L. Bjornberg, et al. (2003). "Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study." Bioelectromagnetics **24**(4): 283-238.
- Haarala, C., M. Ek, et al. (2004). "902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans." Bioelectromagnetics **25**(6): 452-456.
- Haarala, C., F. Takio, et al. (2007). "Pulsed and Continuous Wave Mobile Phone Exposure Over Left Versus Right Hemisphere: Effects on Human Cognitive Function." Bioelectromagnetics **28**(4): 289-295.
- Hahn, R. A. (1997). "The nocebo phenomenon: concept, evidence, and implications for public health." Preventive Medicine **26**(5 Pt 1): 607-611.
- Hahn, R. A. (1996). "Nocebo: Der Glaube, der krank macht." Psychologie heute: 64-68.
- Hamblin, D. L., R. J. Croft, et al. (2006). "The Sensitivity of Human Event-Related Potentials and Reaction Time to Mobile Phone Emitted Electromagnetic Fields." Bioelectromagnetics **27**: 1-9.
- Hamblin, D. L., A. W. Wood, et al. (2004). "Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task." Clinical Neurophysiology **115**(1): 171-178.
- Hansson Mild, K., M. Repacholi, et al. (2004). Workshop Summary. WHO Workshop on Electrical Hypersensitivity, Prague, Czech Republic, World Health Organisation (WHO), www.who.int/peh-emf/meetings/hypersens_summary_oct04.pdf.
- Harlacher, U. und J. Schahn (1998). "Elektrosensitivität" - ein psychologisches Problem? Umwelt und Gesundheit - Die Verbindung ökologischer und gesundheitlicher Ansätze. E. Kals. Weinheim, Beltz.
- Haugland, S. und B. Wold (2001). "Subjective health complaints in adolescence--reliability and validity of survey methods." Journal of Adolescence **24**(5): 611-624.
- Heinrich, S., A. Ossig, et al. (2007). "Elektromagnetische Felder einer UMTS-Mobilfunkbasisstation und gesundheitliche Effekte - Eine Machbarkeitsstudie." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **12**(3): 171-180.
- Herr, C. (2005). "Relating use of mobile phones to reported sleep quality." Somnologie **9**: 199-202.
- Hietanen, M., A.-M. Hämäläinen, et al. (2002). "Hypersensitivity Symptoms Associated With Exposure to Cellular Telephones: No Causal Link." Bioelectromagnetics **23**: 264-270.
- Hillert, L., A. Ahlbom, et al. (2006). "Call-related factors influencing output power from mobile phones." Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology **16**: 507-514.
- Hillert, L., T. Akerstedt, et al. (2008). "The effects of 884 MHz GSM wireless communication signals on headache and other symptoms: an experimental provocation study." Bioelectromagnetics **29**(3): 185-196.
- Hillert, L., N. Berglind, et al. (2002). "Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey." Scandinavian Journal of Work, Environment and Health **28**(1): 33-41.
- Hillert, L., S. Flato, et al. (2001). "Environmental Illness: Fatigue and Cholinesterase Activity in Patients Reporting Hypersensitivity to Electricity." Environmental Research Section A **85**: 200-206.

- Hillert, L., B. K. Hedman, et al. (1999). "Hypersensitivity to electricity: working definition and additional characterization of the syndrome." Journal of Psychosomatic Research **47**(5): 429-438.
- Hillert, L. und B. Kolmodin-Hedman (1997). "Hypersensitivity to electricity: sense or sensibility?" Journal of Psychosomatic Research **42**(5): 427-432.
- Hillert, L., B. Kolmodin Hedman, et al. (1998). "Cognitive behavioural therapy for patients with electric sensitivity - a multidisciplinary approach in a controlled study." Psychotherapy and Psychosomatics **67**(6): 302-310.
- Hinrichs, H. und H. J. Heinze (2004). "Effects of GSM electromagnetic field on the MEG during an encoding-retrieval task." Neuroreport **15**(7): 1191-1194.
- Hinrichs, H., H. J. Heinze, et al. (2005). "Human sleep under the influence of a GSM 1800 electromagnetic far field." Somnologie **9**: 185-191.
- Hocking, B. (1998). "Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use." Occupational Medicine (Lond) **48**(6): 357-360.
- Hodapp, V., F. Neuhann, et al. (1996). "Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung von Umweltbesorgnis." Zeitschrift für Gesundheitspsychologie **IV**(1): 22-36.
- Hodapp, V., H. F. Neuhann, et al. (1996). "Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung von Umweltbesorgnis." Zeitschrift für Gesundheitspsychologie **4**: 22-36.
- Hornung, R. W. und L. D. Reed (1990). "Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values." Applied Occupational Environmental Hygiene **5**(1): 48-51.
- Huber, R., T. Graf, et al. (2000). "Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG." Neuroreport **11**(15): 3321-3325.
- Huber, R., V. Treyer, et al. (2002). "Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG." Journal of Sleep Research **11**(4): 289-295.
- Hug, K., R. Rapp, et al. (2006). Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich. Umwelt-Wissen Nr. 0722. Bern.
- Hutter, H.-P., H. Moshhammer, et al. (2001). "Zur Frage gesundheitlich relevanter Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **6**: 309-320.
- Hutter, H.-P., H. Moshhammer, et al. (2004). "Public perception of risk concerning celltowers and mobile phones." Sozial-Präventivmedizin **49**: 62-66.
- Hutter, H. P., Moshhammer, H., et al. (2002). "Mobilfunk-Basisstationen: Erste ergebnisse von zwei Feldstudien." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **7**(4): 213.
- Hutter, H. P., H. Moshhammer, et al. (2006). Tinnitus and mobile phone use: is there a connection? Biological Effects of EMFs: 4rd International Workshop, Kreta, Greece, 16.-20.10.2006.
- Hutter, H. P., H. Moshhammer, et al. (2006). "Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations." Occupational and Environmental Medicine **63**: 307-313.
- Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP). (2000). "Mobile phones and Health (The Stewart Report)." 2000, from <http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm>.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (1998). "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)." Health Physics **74**(4): 494-522.

- Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) (2005). Thema Mobilfunk: Infrastruktur und Technik. Nutzen und Perspektiven sowie die technischen Voraussetzungen mobiler Kommunikation.
- Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) (2005). Thema Mobilfunk: Umwelt und Gesundheit. Auswirkungen elektromagnetischer Felder und Ergebnisse der Forschung.
- Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) (2005). Was sie schon immer über Mobilfunk wissen wollten. Fragen und Antworten zur mobilen Kommunikation.
- Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) (2003). Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen. Abschlussbericht über die Befragung 2003. Bonn.
- Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) (2006). Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen. Abschlussbericht der Befragung 2006. Bonn.
- Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas) (2007). Ermittlungen der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen. Abschlussbericht der Befragungen 2003 bis 2006.
- Kamtsiuris, P., M. Lange, et al. (2007). "Der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS): Stichprobendesign, Response und Nonresponse-Analyse." Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz **50**: 547-556.
- Keetley, V., A. W. Wood, et al. (2006). "Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans." Neuropsychologia **44**(10): 1843-1848.
- Kheifets, L., M. Repacholi, et al. (2005). "The Sensitivity of Children to Electromagnetic Fields." Pediatrics **116**(2): 303-313.
- Klasen, H., W. Woerner, et al. (2003). "[German version of the Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ-German)--overview and evaluation of initial validation and normative results]." Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie **52**(7): 491-502.
- Klug, S., R. Bender, et al. (2007). "Wichtige epidemiologische Studientypen." Deutsche Medizinische Wochenschrift **132**: e45-e47.
- Knafli, U., H. Lehmann, et al. (2008). "Electromagnetic field measurements using personal exposimeters." Bioelectromagnetics **29**(2): 160-162.
- Koivisto, M., C. Haarala, et al. (2001). "GSM phone signal does not produce subjective symptoms." Bioelectromagnetics **22**(3): 212-215.
- Koivisto, M., A. Revonsuo, et al. (2000). "Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans." Neuroreport **11**(2): 413-415.
- Krause, C. M., C. Haarala, et al. (2004). "Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study." Bioelectromagnetics **25**(1): 33-40.
- Kröner-Herwig, B., M. Heinrich, et al. (2007). "Headache in German children and adolescents: a population-based epidemiological study." Cephalalgia **27**: 519-527.
- Kwon, M. S., M. Koivisto, et al. (2008). "Perception of the electromagnetic field emitted by a mobile phone." Bioelectromagnetics **29**(2): 154-159.
- Lee, T. M., P. K. Lam, et al. (2003). "The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention." Neuroreport **14**(10): 1361-1364.

- Leitgeb, N. (2000). Machen elektromagnetische Felder krank? - Strahlen, Wellen, Felder und ihre Auswirkungen auf unsere Gesundheit. Wien, Springer Verlag.
- Leitgeb, N. (2007). "Investigation of sleep quality in electrohypersensitive residents near base stations under domestic conditions." Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz **109**: 1-127.
- Leitgeb, N., G. Friedrich, et al. (2002). "Scientific Comment on Epidemiologic Studies on the Health Impact of Mobile Communication Basestations." from www.cost281.org.
- Leitgeb, N. und J. Schröttner (2003). "Electrosensitivity and electromagnetic Hypersensitivity." Bioelectromagnetics **24**: 387-394.
- Levallois, P., R. Neutra, et al. (2002). "Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California." Environmental Health Perspectives **110**(4): 619-623.
- Lidén, S. (1996). "'Sensitivity to electricity" - a new environmental epidemic." Allergy **51**: 519-524.
- Ling, R. (2002). "Adolescent girls and young adult men: Two sub-cultures of the mobile phone." Revista de Estudios de Juventud **57**: 33-45.
- Lönn, S., U. Forssen, et al. (2004). "Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment." Occup Environ Med **61**: 769-772.
- Loughran, S. P., A. W. Wood, et al. (2005). "The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep." Neuroreport **16**(17): 1973-1976.
- Lubin, J. H., J. S. Colt, et al. (2004). "Epidemiologic evaluation of measurement data in the presence of detection limits." Environmental Health Perspectives **112**(17): 1691-1696.
- Lyskov, E., M. Sandström, et al. (2001). "Provocation study of persons with perceived electrical hypersensitivity and controls using magnetic field exposure and recording of electrophysiological characteristics." Bioelectromagnetics **22**: 457-462.
- MacGregor, D. G. und R. Fleming (1996). "Risk perception and symptom reporting." Risk Anal **16**(6): 773-83.
- MacMahon, S. und J. Meyer (1995). "Symptom prevalence and worry about high voltage transmission lines." Environ Res **70**: 114-118.
- Madell, D. (2006). "An Online Survey of UK Young People's use of Mobile Phones." The Research and Development Bulletin **4**(2): 21-27.
- Maier, R., S. E. Greter, et al. (2004). "Effects of pulsed electromagnetic fields on cognitive processes - a pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration." Acta Neurologica Scandinavica **110**(1): 46-52.
- Mann, K. und J. Roschke (2004). "Sleep under exposure to high-frequency electromagnetic fields." Sleep Medicine Reviews **8**(2): 95-107.
- Mann, K. und J. Röschke (1996). "Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep." Neuropsychobiology **33**(1): 41-47.
- Mann, K., P. Wagner, et al. (1998). "Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system." Neuroendocrinology **67**(2): 139-44.
- Matyssek, A. K. und J. Neuser (2002). Subjektive Beeinträchtigungen ohne objektivierbare Umwelttoxine: Fehlattraktionen. Lehrbuch der Umweltmedizin: Grundlagen - Untersuchungsmethoden - Krankheitsbilder - Prävention. W. Dott, H. F. Merk, J. Neuser und R. Osieka. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2006). KIM-Studie 2006. Kinder und Medien. Computer und Internet. Stuttgart.

- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2007). JIM-Studie 2007. Jugend, Information, (Multi-) Media. Stuttgart.
- Mezei, G., M. Benyi, et al. (2007). "Mobile phone ownership and use among school children in three hungarian cities." Bioelectromagnetics **28**(4).
- Navarro, E., J. Segura, et al. (2003). "The Microwave Syndrome: A Preliminary Study in Spain." Electromagnetic Biology and Medicine **22**(2&3): 161-169.
- Neitzke, H. P., J. Osterhoff, et al. (2007). "Determination of exposure due to mobile phone base stations in an epidemiological study." Radiation Protection Dosimetry **124**(1): 35-39.
- Neitzke, H. P., J. Osterhoff, et al. (2004). Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen". Schlussbericht zum Forschungsvorhaben.
- Neubauer, G., M. Feychting, et al. (2007). "Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations." Bioelectromagnetics **28**(3): 224-230.
- Oftedal, G., A. Straume, et al. (2007). "Mobile phone headache: a double blind, sham-controlled provocation study." Cephalalgia **27**(5): 447-455.
- Oftedal, G., J. Wilén, et al. (2000). "Symptoms experienced in connection with mobile phone use." Occupational Medicine **50**(4): 237-245.
- Otto, M. und K. E. von Mühlendahl (2005). Mobilfunk und Gesundheit. Eine Information für Ärzte.
- Otto, M. und K. E. von Mühlendahl (2007). "Electromagnetic fields (EMF): Do they play a role in children's environmental health (CEH)?" International Journal of Hygiene and Environmental Health **210**: 635-644.
- Ozturan, O., T. Erdem, et al. (2002). "Effects of the Electromagnetic Field of Mobile Telephones on Hearing." Acta Otolaryngol **122**: 289-293.
- Parslow, R. C., S. J. Hepworth, et al. (2003). "Recall of past use of mobile phone handsets." Rad Protect Dos **106**(3): 233-240.
- Petrie, K. J., E. A. Broadbent, et al. (2005). "Worries about modernity predict symptom complaints after environmental pesticide spraying." Psychosomatic Medicine **67**(5): 778-7782.
- Petrie, K. J., R. Moss-Morris, et al. (2004). "The relationship of negative affect and perceived sensitivity to symptom reporting following vaccination." British Journal of Health Psychology **9**: 101-111.
- Petrie, K. J., B. Sivertsen, et al. (2001). "Thoroughly modern worries: the relationship of worries about modernity to reported symptoms, health and medical care utilization." Journal of Psychosomatic Research **51**(1): 395-401.
- Preece, A. W., S. Goodfellow, et al. (2005). "Effect of 902 MHz Mobile Phone Transmission on Cognitive Function in Children." Bioelectromagnetics Supplement **7**: 138-143.
- Preece, A. W., G. Iwi, et al. (1999). "Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man." International Journal of Radiation Biology **75**(4): 447-456.
- Punamäki, R. L., M. Wallenius, et al. (2007). "Use of information and communication technology (ICT) and perceived health in adolescence: the role of sleeping habits and waking-time tiredness." Journal of Adolescence **30**(4): 569-585.
- Radon, K. und C. Maschke (1998). "Gibt es Elektrosensibilität im D-Netzbereich. Ein 3-AFC-Doppelblindversuch." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **3**(3): 125-129.

- Radon, K., D. Parera, et al. (2001). "No Effects of Pulsed Radio Frequency Electromagnetic Fields on Melatonin, Cortisol, and Selected Markers of the Immune System in Man." Bioelectromagnetics **22**: 280-287.
- Radon, K., H. Spegel, et al. (2006). "Personal Dosimetry of Exposure to Mobile Phone Base Stations? An Epidemiologic Feasibility Study Comparing the Maschek Dosimeter Prototype and the Antennessa DSP-090 System." Bioelectromagnetics **27**: 77-81.
- Radon, K., H. Spegel, et al. (2004). Epidemiologische Untersuchung zu den möglichen akuten gesundheitlichen Effekten durch Mobilfunk. Abschlussbericht der Pilotstudie. München.
- Radon, K., D. Windstetter, et al. (2005). "Exposure to farming environments in early life and type 1 diabetes: a case-control study." Diabetes **54**: 3212-3216.
- Ravens-Sieberer, U. und M. Bullinger (1998). "Assessing health-related quality of life in chronically ill children with the German KINDL: first psychometric and content analytical results." Quality of Life Research **7**(5): 399-407.
- Ravens-Sieberer, U. und C. Thomas (2003). Gesundheitsverhalten von Schülern in Berlin. Ergebnisse der HBSC- Jugendgesundheitsstudie 2002 im Auftrag der WHO.
- Regel, S. J., J. M. Gottselig, et al. (2007). "Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram." Neuroreport **18**(8): 803-807.
- Regel, S. J., S. Negovetic, et al. (2006). "UMTS Base Station-Like Exposure, Well Being and Cognitive Performance." Environmental Health Perspectives online: [http://dx.doi.org mit doi Adresse: 10.1289/ehp.8934](http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8934).
- Regel, S. J., G. Tinguely, et al. (2007). "Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance." J Sleep Res **16**(3): 253-8.
- Repacholi, M. H. (2001). "Health risks from the use of mobile phones." Toxicology Letters **120**(1-3): 323-331.
- Rethage, T., T. Eikmann, et al. (2004). Einführung in die mehrdimensionale Erfassung von Umweltbesorgnis. Arbeitsmedizinische Aspekte der Metallbearbeitung - Gesundheitsschutz bei Einsatz neuer Technologien, Innsbruck, Arbeitsmedizinisches Zentrum Hall in Tirol.
- Revermann, C. (2003). Risiko Mobilfunk. Berlin, edition sigma.
- Robert Koch-Institut. (2007). "KiGGS-Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland." Retrieved 16.04, 2008, from http://www.kiggs.de/experten/erste_ergebnisse/Basispublikation/index.html.
- Röösli, M. (2005). Befindlichkeitsstörungen. Bewertung der wissenschaftlichen Literatur zu den Risikopotentialen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks. Jülich.
- Röösli, M. (2007). "Elektromagnetische Felder und Gesundheit: Risikowahrnehmung in der Öffentlichkeit." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **12**(6): 343-349.
- Röösli, M. (2008). "Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review." Environmental Research **107**(2): 277-287.
- Röösli, M., P. Frei, et al. (2008). "Statistical analysis of personal radiofrequency electromagnetic field measurements with nondetects." Bioelectromagnetics.
- Röösli, M., M. Moser, et al. (2004). "Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure - a questionnaire survey." International Journal of Hygiene and Environmental Health **207**(2): 141-150.

- Roth-Isigkeit, A., U. Thyen, et al. (2004). "Reports of pain among German children and adolescents: an epidemiological study." Acta Paediatrica **93**(2): 258-263.
- Rubin, G. J., A. J. Cleare, et al. (2008). "Psychological factors associated with self-reported sensitivity to mobile phones." Journal of Psychosomatic Research **64**: 1-9.
- Rubin, G. J., J. Das Munshi, et al. (2005). "Electromagnetic Hypersensitivity: A Systematic Review of Provocation Studies." Psychosomatic Medicine **67**: 224-232.
- Rubin, G. J., J. Das Munshi, et al. (2006). "A Systematic Review of Treatments for Electromagnetic Hypersensitivity." Psychotherapy and Psychosomatics **75**: 12-18.
- Rubin, G. J., G. Hahn, et al. (2006). "Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomised provocation study." British Medical Journal **332**(7546): 886-891.
- Russo, R., E. Fox, et al. (2006). "Does Acute Exposure to Mobile Phones Affect Human Attention." Bioelectromagnetics **27**: 215-220.
- Sandström, M., J. Wilen, et al. (2001). "Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones." Occupational Medicine (London) **51**(1): 25-35.
- Santini, R., P. Santini, et al. (2002). "[Investigation on the health of people living near mobile telephone relay stations: I/Incidence according to distance and sex]." Pathologie Biologie (Paris) **50**(6): 369-373.
- Santini, R., P. Santini, et al. (2003). "[Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II/ Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors]." Pathologie Biologie (Paris) **51**(7): 412-415.
- Santini, R., M. Seigne, et al. (2001). "[Symptoms reported by mobile cellular telephone users]." Pathologie Biologie (Paris) **49**(3): 222-226.
- Schisterman, E. F., A. Vexler, et al. (2006). "The limitations due to exposure detection limits for regression models." American Journal of Epidemiology **163**(4): 374-383.
- Schlack, R., H. Hölling, et al. (2007). "Die Prävalenz der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland." Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz **50**: 827-835.
- Schmid, G., C. Sauter, et al. (2005). "No Influence on Selected Parameters of Human Visual Perception of 1970 MHz UMTS-Like Exposure." Bioelectromagnetics **26**(4): 243-250.
- Schreier, N., A. Huss, et al. (2006). "The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland." Social and Preventive Medicine **51**: 202-209.
- Schüz, J. und S. Mann (2000). "A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations." Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology **10**(6): 600-605.
- Schüz, J. und J. Michaelis (2001). "Epidemiologie nicht-ionisierender elektromagnetischer Felder - eine Übersicht." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **6**(2): 67-76.
- Schüz, J., C. Petters, et al. (2004). "Der Mainzer EMF-Wachhund: Erfahrungsbericht nach einjähriger Feldphase." Umweltmedizin in Forschung und Praxis **9**(6): 347-348.

- Schweiger, A. und A. Parducci (1981). "Nocebo: the psychologic induction of pain." Pavlov Journal of Biological Science **16**(3): 140-143.
- Seidl, C. (2008). Behandlung des Problems von Bestimmungs- und Nachweisgrenzen in epidemiologischen Studien.
- Seitz, H., D. Stinner, et al. (2005). Befindlichkeitsstörungen. Bewertung der wissenschaftlichen Literatur zu den Risikopotentialen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks. Jülich.
- Seitz, H., D. Stinner, et al. (2005). "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 **349**(1-3): 45-55.
- Smythe, J. W. und B. Costall (2003). "Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects." Neuroreport **14**(2): 243-246.
- Söderqvist, F. und L. Hardell (2007). "Ownership and use of wireless telephones: a population-based study of Swedish children aged 7-14 years." BMC Public Health **7**:105.
- Spegel, H., N. Meyer, et al. (2006). "Mobilfunk und Befinden - eine Pilotstudie. Design und erste Ergebnisse." Umweltmedizin in Forschung Praxis **11**(2): 80-88.
- Statistisches Bundesamt (2007). Wirtschaftsrechnungen - Ausstattung privater Haushalte mit langlebigen Gebrauchsgütern 2000- 2006. Wiesbaden.
- Stovner, L. J., J. A. Zwart, et al. (2006). "Epidemiology of headache in Europe." European Journal of Neurology **13**(4): 333-345.
- Strahlenschutzkommission (SSK) (2006). Mobilfunk und Kinder - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung. Bonn.
- Thomas, S., A. Kühnlein, et al. (2008). "Personal exposure to mobile phone frequencies and well-being in adults: A cross-sectional study based on dosimetry." Bioelectromagnetics.
- Tutz, G. (2000). Die Analyse kategorialer Daten. München, Oldenbourg.
- Uexküll, T. V. (1997). Psychosomatische Medizin. München, Wien, Baltimore, Urban & Schwarzenberg.
- Van den Bergh, O., W. Winters, et al. (2002). "Learning subjective health complaints." Scandinavian Journal of Psychology **43**(2): 147-152.
- van Rongen, E., E. W. Roubos, et al. (2004). "Mobile phones and children: is precaution warranted?" Bioelectromagnetics **25**: 142-144.
- VDI 2449 Blatt 1 (1995). Prüfkriterien von Messverfahren - Ermittlung von Verfahrenskenngrößen für die Messung gasförmiger Schadstoffe (Immission). VDI- Richtlinien. Abschnitt 2.4.2. Berlin.
- Vrijheid, M., I. Deltour, et al. (2006). "The effect of recall errors and selection bias in epidemiologic studies of mobile phone use and cancer risk." Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology **16**: 371-384.
- Wagner, P., J. Roschke, et al. (2000). "Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities." Neuropsychobiology **42**(4): 207-212.
- Wagner, P., J. Roschke, et al. (1998). "Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions." Bioelectromagnetics **19**(3): 199-202.
- Wahrendorf, J., J. Michaelis, et al. (2000). "Mobilfunk und Gesundheit: Noch keine gesicherten epidemiologischen Studien verfügbar." Deutsches Ärzteblatt **97**(13): A847-A850.

- White, E., P. Carney, et al. (2005). "Increasing response to mailed questionnaires by including a pencil/pen." American Journal of Epidemiology **162**: 261-266.
- WHO (2004). WHO workshop on Electrical Hypersensitivity. Editor., Publisher
- Wilen, J., A. Johansson, et al. (2006). "Psychophysiological tests and provocation of subjects with mobile phone related symptoms." Bioelectromagnetics **27**(3): 204-214.
- Wilen, J., M. Sandstrom, et al. (2003). "Subjective symptoms among mobile phone users--a consequence of absorption of radiofrequency fields?" Bioelectromagnetics **24**(3): 152-159.
- Winters, W., S. Devriese, et al. (2003). "Media warnings about environmental pollution facilitate the acquisition of symptoms in response to chemical substances." Psychosomatic Medicine **65**(3): 332-338.
- Woerner, W., A. Becker, et al. (2002). "Normierung und Evaluation der deutschen Elternversion des Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ): Ergebnisse einer repräsentativen Felderhebung." Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychotherapie **30**(2): 105-112.
- Zerssen, D. (1976). Complaint List. Manual. Weinheim, Beltz.
- Zwamborn, A. P. M., S. H. J. A. Vossen, et al. (2003). Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints.