



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Biologische Auswirkungen des Mobilfunks
– Gesamtschau –**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Inhalt

Einleitung	4
1 Zwischenzeitlich abgeschlossene Projekte des DMF	4
1.1 Themenbereich Biologie	5
1.1.1 Einleitung	5
1.1.2 Elektrosensibilität	5
1.1.3 Schlafqualität.....	5
1.1.4 Blut-Hirn-Schranke.....	6
1.1.5 Kognitive Fähigkeiten.....	7
1.1.6 Langzeitexposition von Labortieren: Metabolismus, Reproduktionsverhalten, Immun- und Stressreaktionen.....	7
1.1.7 Genotoxizität und Genregulation.....	8
1.1.8 Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter Felder	9
1.2 Themenbereich Epidemiologie.....	10
1.2.1 Mobilfunk.....	10
1.2.2 Rundfunk- und Fernsehsender.....	12
1.3 Themenbereich Dosimetrie	12
2 Zusammenfassende Bewertung	15
2.1 Gibt es eine potenzielle krebsinitierende oder krebspromovierende Wirkung?	16
2.2 Gibt es eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke?	23
2.3 Gibt es eine Beeinflussung neurophysiologischer und kognitiver Prozesse sowie des Schlafes durch Mobilfunkfelder?	24
2.3.1 Sinnesorgane	24
2.3.2 EEG	24
2.3.3 Kognitive Funktionen.....	26
2.4 Gibt es Elektrosensibilität und Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunkfelder?	27
2.5 Gibt es Effekte chronischer Exposition auf Blut und Immunsystem?	29
2.6 Gibt es Auswirkungen chronischer Exposition auf Reproduktion und Entwicklung?	29
2.7 Welche Expositionen verursachen Funk-Technologien?	30
2.8 Sind Kinder einem erhöhten gesundheitlichen Risiko ausgesetzt?	32
2.9 Wie wird das EMF-Risiko wahrgenommen und wie kann die Risikokommunikation verbessert werden?	35
3 Schlussfolgerung und Ausblick	36
4 Literatur	40

Abkürzungsverzeichnis	49
Liste der DMF-Forschungsprojekte (Stand: 18. Juli 2011).....	51
Liste der Publikationen aus dem DMF	54

Einleitung

Vor dem Hintergrund der Diskussionen über mögliche gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der geltenden Grenzwerte und der zunehmenden Verbreitung der Mobilfunknutzung wurde in den Jahren 2002 bis 2008 das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) durchgeführt. Das DMF umfasste insgesamt 54 Forschungsprojekte aus den Themenbereichen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation. Das Gesamtbudget des DMF betrug rund 17 Millionen Euro, das je zur Hälfte von den Mobilfunknetzbetreibern und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zur Verfügung gestellt wurde. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übernahm die Verwaltung der Gelder, die Entscheidung über Forschungsthemen, die fachliche Betreuung und die organisatorische Abwicklung des Forschungsprogramms. Die Strahlenschutzkommission (SSK) hatte im Vorfeld offene wissenschaftliche Fragestellungen identifiziert, Empfehlungen zu Forschungsthemen abgegeben und an den DMF-begleitenden Diskussionen aktiv mitgewirkt.

Im Juni 2008 hat die SSK zur internationalen Abschlusskonferenz „Mobilfunk“ eine Bewertung der bis April 2008 verfügbaren 36 Abschlussberichte der 54 Forschungsprojekte des DMF vorgelegt (SSK 2008). Das BMU hat danach die SSK gebeten, auch eine Bewertung der noch ausstehenden 18 Forschungsprojekte aus den Themenbereichen Biologie, Epidemiologie und Dosimetrie vorzunehmen. Basierend auf dieser Bewertung und aufbauend auf den Ergebnissen der SSK-Stellungnahme aus dem Jahr 2008 soll in der vorliegenden Stellungnahme unter Einbeziehung der Ergebnisse anderer nationaler und internationaler Forschungsprogramme und der zwischenzeitlich erschienenen Publikationen der aktuelle Wissensstand über die biologischen Auswirkungen des Mobilfunks zusammengefasst und bewertet werden.

Die Bewertung der zwischenzeitlich abgeschlossenen 18 Forschungsprojekte erfolgt auf Basis der vorliegenden Abschlussberichte aus wissenschaftlicher Sicht im Hinblick auf die ausgewählten Forschungsthemen sowie die wissenschaftliche Qualität der durchgeführten Arbeiten, den erzielten Erkenntnisgewinn zur Bewertung der gesundheitlichen Aspekte des Mobilfunks und im Hinblick auf wissenschaftliche Fragestellungen, die noch offen geblieben sind oder die sich durch die zwischenzeitliche Entwicklung des internationalen Wissensstandes neu ergeben haben könnten.

1 Zwischenzeitlich abgeschlossene Projekte des DMF

In diesem Abschnitt erfolgt eine Zusammenfassung der 18 Forschungsprojekte, die bei der Bewertung durch die SSK im Juni 2008 (SSK 2008) noch nicht abgeschlossen waren. Als Grundlage für diese Stellungnahme wurden die vorliegenden Abschlussberichte der einzelnen Forschungsprojekte durch wenigstens zwei unabhängige Experten der SSK und ihrer Ausschüsse sowie externe Gutachter analysiert und bewertet. Die Gutachten wurden nur von Personen erstellt, die weder direkt noch indirekt an den Projekten beteiligt waren.

Auf Grundlage der vorliegenden Abschlussberichte und unter Berücksichtigung der abgegebenen unabhängigen Gutachten nimmt die SSK zu den Projekten nachfolgend Stellung.

1.1 Themenbereich Biologie

1.1.1 Einleitung

Ab 2008 wurden 9 Vorhaben mit biologischen Fragestellungen abgeschlossen. Die Forschungsvorhaben lassen sich folgenden thematischen Schwerpunkten zuordnen.

- Elektrosensibilität (B13)
- Schlafqualität (B20)
- Blut-Hirn-Schranke (B9, B10, B15)
- Kognitive Fähigkeiten (B9)
- Langzeitexposition von Labortieren: Metabolismus, Reproduktionsverhalten, Immun- und Stressreaktionen (B8, B9)
- Genexpression und Genotoxizität (B15, B16, B21)
- Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter Felder (B17)

1.1.2 Elektrosensibilität

In dem thematisch umfangreichen Programm B13 bei nach Selbsteinschätzung „elektrosensiblen“ Personen sollte untersucht werden, ob und in welchem Umfang Begleitfaktoren bzw. –erkrankungen, wie z. B. Allergien, erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeiten gegenüber Schwermetallen und Chemikalien, auftreten¹. Zur Rekrutierung der Probanden wurde mit Selbsthilfegruppen zusammengearbeitet. Es wurden sowohl psychologische als auch physiologisch-klinische Parameter ermittelt. Die Untersuchungen sind in Form einer Fall-Kontrollstudie durchgeführt worden (130 „elektrosensible“ Personen, 101 Kontrollen).

Die Hypothese, dass Personen, die sich selber als elektrosensibel bezeichnen, sich hinsichtlich immunologischer Parameter, molekulargenetischer Parameter der Leberfunktion und der internen Belastung durch Schwermetalle von den Kontrollpersonen unterscheiden, konnte nicht bestätigt werden. Es zeigten sich bei den untersuchten objektiven Parametern keine Unterschiede des Gesundheitszustandes zwischen den beiden untersuchten Gruppen. „Fälle“ hatten in ihrer Anamnese häufiger Angaben zu subjektiv empfundenen Störungen als die Kontrollen.

Kritisch ist anzumerken, dass die Studie eine Reihe von Schwachstellen aufweist: So ist die Zahl der Kontrollen relativ klein, und die Ein- und Ausschlusskriterien sind sowohl für Elektrosensible als auch Kontrollen unzureichend festgelegt (wechselnde Zuordnung zu den Gruppen). Zudem sind die angewandten Untersuchungsmethoden nur bedingt geeignet, um das Vorliegen der zu betrachtenden Begleitstörungen zu bestätigen oder auszuschließen.

1.1.3 Schlafqualität

Eine Beeinflussung der Schlafqualität durch Felder des Mobilfunks gehört zu den am häufigsten geäußerten Beschwerden, obwohl objektive Belege dafür bisher fehlen. Laboruntersuchungen sind oft schwierig zu interpretieren, da das ungewohnte Umfeld das Schlafverhalten negativ beeinflussen kann. In Vorhaben B20² gelang es, mögliche Einflüsse

¹ Forschungsprojekt B13: Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit/bzw. Empfindlichkeit gegenüber

² Forschungsprojekt B20: Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen

durch Mobilfunkfelder in der gewohnten häuslichen Umgebung in einer Doppelblindstudie zu untersuchen. Dazu wurden zehn Standorte in ländlichen Gebieten Deutschlands ausgewählt, wo noch keine Mobilfunkkommunikation existierte und die Hintergrundexposition durch andere Hochfrequenzfelder gering war. Die Exposition erfolgte durch von Mobilfunkbetreibern zur Verfügung gestellte mobile Sender. Verglichen wurde die Schlafqualität in jeweils 5 Nächten mit und ohne Exposition. Weder die Probanden noch die Untersucher verfügten über Informationen bezüglich des Vorhandenseins oder Fehlens der Exposition. Es nahmen 376 Versuchspersonen im Alter von 18 – 81 Jahren teil, die Schlafqualität wurde mit Hilfe etablierter subjektiver und objektiver Methoden ermittelt. In der Gesamtschau aller erhobenen Parameter lässt sich feststellen, dass die Studie keine objektivierbaren Einflüsse auf die Schlafqualität ergab. Allerdings zeigte sich, dass die Schlafgüte beeinflusst war, auch wenn die aufgestellte Anlage nicht in Betrieb war. Die Autoren führen dies auf die Besorgnis über gesundheitliche Einwirkungen zurück.

1.1.4 Blut-Hirn-Schranke

In einigen Publikationen wurde auf der Basis von Tierversuchen postuliert, dass Mobilfunkfelder die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke (BHS) beeinflussen, was, wenn es zuträfe, erhebliche gesundheitliche Konsequenzen haben könnte. Aus diesem Grunde ist diese Fragestellung im Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm umfangreich untersucht worden. Drei Vorhaben beschäftigten sich damit mit unterschiedlichen experimentellen Ansätzen. Im Rahmen des umfangreichen Programms B9 zu Langzeitwirkungen in Labornagern³ wurden sowohl die Transportvorgänge in der BHS mit Hilfe radioaktiv markierter Moleküle als auch die Zahl der CA1-Neuronen untersucht. Diese stellen eine besonders kritische Struktur des Gehirns dar, die äußerst empfindlich sowohl auf toxische Substanzen als auch auf Stress reagieren und somit einen geeigneten Indikator für eventuelle Feldeffekte bilden. Es wurden drei Rattengenerationen kontinuierlich über mehrere Monate mit GSM- und UMTS-Feldern (SAR 0,4 W/kg) exponiert. In keinem Falle ergaben sich signifikante Veränderungen in der Integrität der BHS, die Zahl der CA1-Neuronen blieb ebenfalls im Vergleich zur Kontrollgruppe unverändert.

Das Auftreten „dunkler“ (geschädigter) Neurone im Gehirn wurde in einigen früheren Arbeiten als Anzeichen für eine Schädigung der BHS gedeutet. Dieser Frage widmete sich das Projekt B15⁴. Insgesamt 1 120 Ratten wurden sowohl GSM- als auch UMTS-Feldern ausgesetzt. In einigen Fällen traten zwar sporadisch „dunkle“ Neurone auf, dies geschah aber in zufälliger Verteilung, und es konnte weder eine Abhängigkeit von der Expositionsstärke noch von der Expositionsdauer festgestellt werden. Auf der Basis ihrer Experimente kommen daher die Autoren zu dem Schluss, dass eine Beeinflussung der BHS nicht nachgewiesen werden konnte.

Die beiden genannten In-vivo-Untersuchungen wurden durch eine In-vitro-Studie B10⁵ ergänzt. Kulturen von Hirnepithelzellen wurden entweder GSM 1 800- oder UMTS-Feldern mit SAR-Werten zwischen 0,4 W/kg und 8 W/kg ausgesetzt. Mit Hilfe von Microarrays wurde die Genexpression ermittelt. In einigen Fällen, bei denen sich Abweichungen zu den scheinexponierten Kontrollen zeigten, erfolgte eine Überprüfung durch Einsatz der quantitativen RT-PCR (Real-Time-Polymerase-Chain-Reaction). Wie bei der Vielzahl der

³ Forschungsprojekt B9: In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen, Teilprojekt Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke und Zahl der CA1-Neuronen

⁴ Forschungsprojekt B15: Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (in vivo)

⁵ Forschungsprojekt B10: In-vitro-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke

untersuchten Gene aus statistischen Gründen zu erwarten, zeigten sich in einigen Fällen Veränderungen der Genregulation, eine systematische Abhängigkeit von Dauer und Stärke der Exposition ließ sich jedoch nicht feststellen. Belege für eine pathophysiologische Relevanz lassen sich somit aus diesen Ergebnissen nicht ableiten.

1.1.5 Kognitive Fähigkeiten

Die Frage möglicher Beeinträchtigungen geistiger Fähigkeiten durch Mobilfunkfelder wurde im Projekt B9 in Langzeitexperimenten am Rattenmodell mit Hilfe etablierter kognitiver Testverfahren untersucht⁶. Lern- und Gedächtnisleistungen wurden nach Langzeitexposition bei einem SAR-Wert von 0,4 W/kg mit für Versuchstiere etablierten Methoden (Skinner-Käfigen) überprüft. In keinem Fall zeigten sich in dieser Studie Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Gruppen. Grundsätzlich ist die Übertragbarkeit dieser Resultate auf Menschen zwar eingeschränkt, aber zumindest stützen sie nicht die Vermutung, dass kognitive Fähigkeiten durch Mobilfunkfelder beeinflusst werden könnten.

1.1.6 Langzeitexposition von Labortieren: Metabolismus, Reproduktionsverhalten, Immun- und Stressreaktionen

In einem früheren Langzeitexperiment mit Labornagern B3⁷ hatten sich Hinweise ergeben, dass Mobilfunkfelder den Gesamtmetabolismus beeinflussen könnten. Diese Hypothese wurde im Projekt B8⁸ systematisch geprüft, konnte aber zumindest für die im früheren Projekt getesteten SAR-Werte nicht bestätigt werden. Erst bei einem SAR-Wert von 4 W/kg zeigten sich signifikante, aber schwache Effekte auf Hauttemperatur und Metabolismus, was aber aufgrund der Nähe zum Schwellenwert der Thermoregulation zu erwarten war.

Es wurden noch weitere Mehr-Generationen-Studien durchgeführt⁹. Da bei solchen Studien durch Veränderungen des Reproduktionsverhaltens als Störgröße (Confounder) Beeinflussungen der Ergebnisse auftreten könnten, wurde die Zahl der Nachkommen sowie von Fehl- und Totgeburten über die gesamte Versuchsdauer erfasst. Es wurden keine relevanten Unterschiede festgestellt.

An zwei Gruppen von Ratten im Alter von jeweils 20 Wochen und einer Gruppe im Alter von 52 Wochen wurde auch das Immunsystem untersucht¹⁰. Dazu wurden zu verschiedenen Zeitpunkten einer Langzeitexposition (GSM 900 MHz, UMTS 1 966 MHz, SAR 0,4 W/kg) die Reaktionen auf verschiedene Antigene getestet und die Antikörpertiter bestimmt. Nur in einem von zwölf Versuchen zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen exponierten und nicht exponierten Gruppen. Diese Ausnahme wird von den Autoren als Zufallsergebnis gedeutet, zumal es in zwei anderen analog untersuchten Gruppen nicht auftrat („Aufgrund des Vorliegens eines signifikanten Einzelergebnisses muss davon ausgegangen werden, dass es sich um einen Zufallsbefund handeln könnte“).

⁶ Forschungsprojekt B9: In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen, Teilprojekt Operante Verhaltensuntersuchungen zur Lern- und Gedächtnisleistung von Ratten

⁷ Forschungsprojekt B3: Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder

⁸ Forschungsprojekt B8: Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)

⁹ Forschungsprojekt B9: In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen

¹⁰ Forschungsprojekt B9: In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen. Teilprojekt Untersuchungen zum potentiellen Einfluss auf das Immunsystem und die Stressbelastung

In demselben Gesamtvorhaben¹⁰ wurde auch der Frage nachgegangen, ob eine Dauerbefeldung Stressreaktionen auslöst. Hierzu wurden den Tieren synthetische Stresssubstanzen injiziert (ACTH, Adreno-Corticotropes-Hormon) und die Konzentration des dadurch induzierten Glucocorticosteroidhormons Cortisol bestimmt, das in der Nebenniere gebildet wird und einen Indikator des Stressgeschehens darstellt. Nur in einer von insgesamt sechs Versuchsgruppen zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Exposition. Dieses Ergebnis wird von den Autoren als Zufallsbefund interpretiert.

Zusammenfassend stellen die Autoren fest, dass bei Ratten durch eine Langzeitexposition über mehrere Generationen bei einem SAR-Wert von 0,4 W/kg keine pathologischen Effekte hervorgerufen wurden. Obwohl die Befunde nicht uneingeschränkt auf Menschen übertragbar sind, unterstützen sie jedoch nicht die Annahme, dass solche Effekte beim Menschen auftreten könnten.

1.1.7 Genotoxizität und Genregulation

Es ist nach wie vor umstritten, ob durch Hochfrequenzfelder genotoxische Effekte hervorgerufen werden können. Zwar sind in der Literatur negative Befunde in der Überzahl, aber eine abschließende Wertung steht noch aus. Im Rahmen des DMF sollte hierzu mit Hilfe eines Ringversuches (Studie B16) ein Beitrag geleistet werden¹¹. In durch Phythämagglutinin (PHA) stimulierten Lymphozyten aus menschlichem Blut wurden folgende Parameter untersucht: Strukturelle Chromosomenaberrationen, Mikrokerne, Schwesterchromatid-austausch (SCE) sowie durch den alkalischen „Comet-Assay“ nachweisbare Veränderungen der DNA (Strangbrüche und alkalilabile Läsionen). Es wurden Blutproben von jeweils 10 jüngeren (16-20 Jahre) und älteren (50-65 Jahre) gesunden Probanden entnommen. Die Exposition erfolgte mit GSM 1800 MHz intermittierend (5 Min. an, 10 Min. aus) über 28 Stunden bei SAR-Werten von 0, 0,2, 2 und 10 W/kg. Die Befeldung wurde durch einen Zufallsgenerator gesteuert, so dass eine vollständige Verblindung sichergestellt war. Exposition und Herstellung der Präparate erfolgte für alle beteiligten Gruppen in einem Labor, von wo sie zur Auswertung auf drei weitere Labore verteilt wurden. Zur Überprüfung der Verfahren wurden für alle Testparameter auch Positivkontrollen (Gammastrahlen mit Dosen bis 6 Gy) erstellt, für SCEs, die durch ionisierende Strahlen nur mit geringer Ausbeute ausgelöst werden, wurde Mitomycin C (0-0,1 µg/ml) eingesetzt. Das Versuchsprotokoll sollte gewährleisten, dass zufällige Befunde auf Grund unterschiedlicher Auswertungen erfasst wurden. Von besonderer Bedeutung bei einem solchen Vorgehen ist, dass bei der Exposition und der Erstellung der Präparate keine Fehler auftreten dürfen, da sie in allen beteiligten Labors zu falschen Ergebnissen führen würden. Es handelt sich bei diesem als Ringversuch angelegten Projekt also nicht um unabhängige Replikationen.

Schon der Vergleich der Resultate mit Positivkontrollen erwies signifikante Unterschiede zwischen den Laboren, die auch in den quantitativen Werten der Hauptstudie gefunden wurden. Ein signifikanter Effekt als Folge der Mobilfunkfelder wurde nur in einem Labor und nur für dizentrische Chromosomen bei der höchsten SAR (10 W/kg) festgestellt, ein Ergebnis, das in den anderen Laboren nicht repliziert werden konnte.

Das Vorhaben führte zu Resultaten, welche mit der Mehrzahl publizierter Studien übereinstimmen. Insofern kann festgestellt werden, dass die Evidenz für das Vorliegen genotoxischer Wirkungen als sehr gering einzustufen ist, allerdings wird die Aussagekraft dieser Schlussfolgerung durch die methodisch begründbare Variabilität der experimentellen Daten der vorliegenden Studie abgeschwächt.

¹¹ Forschungsprojekt B16: Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut

Die Beeinflussung der Genexpression wird von einigen Autoren als Indikator genotoxischer Wirkungen gewertet. Genetische Analyseverfahren, z. B. der „Microarray-Assay“, erlauben es heute, das gesamte Genom in Bezug auf die Genregulation zu untersuchen. Da hierbei eine sehr große Zahl von untersuchten Parametern anfällt, ist die Wahrscheinlichkeit für zufällig auftretende, statistisch signifikante Ergebnisse sehr hoch. Aus diesem Grunde ist eine unabhängige Absicherung mit Hilfe anderer Methoden unumgänglich. Hierzu hat sich die RT-PCR (Real-Time-Polymerase-Chain-Reaction) als Verifikationsmethode etabliert. In dem umfangreichen Vorhaben B21¹² wurde mit Hilfe beider Methoden die Genexpression nach Feldeinwirkung mit SAR-Werten von 0,2, 2 und 5 W/kg in menschlichen Lymphozyten untersucht. In Fällen, in denen sich eine Erhöhung der Genaktivität zeigte, wurde mit Hilfe des „Western-Blots“ geprüft, ob ein funktionelles Protein mit höherer Ausbeute gebildet wird.

In einigen wenigen Fällen zeigten sich durch RT-PCR verifizierte Veränderungen der Genregulation, wobei diese jedoch ausschließlich bei SAR-Werten von 2 und 5 W/kg auftraten. Der Umstand, dass unter den als „reguliert“ klassifizierten Genen häufig diejenigen zu finden waren, die für Hitzeschockproteine (HSP) codieren und auch nur dort eine Erhöhung im „Western Blot“ zu finden war, weist darauf hin, dass thermische Effekte nicht auszuschließen sind. Aus den Ergebnissen lassen sich keine relevanten Veränderungen der Genexpression durch Mobilfunkfelder ableiten.

1.1.8 Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter Felder

Im Projekt B17 wurde die Fragestellung, ob es bei der Mobiltelefonnutzung von Kindern Unterschiede in der Absorption elektromagnetischer Felder im Kopf im Vergleich zu Erwachsenen gibt, sowohl theoretisch als auch experimentell untersucht¹³. Basierend auf neuen verfeinerten numerisch-anatomischen Kopfmodellen von Kindern (3, 6 und 11 Jahre alt) und Erwachsenen und unter Zuhilfenahme altersabhängiger Daten dielektrischer Gewebeeigenschaften wurde die SAR bei Exposition mit GSM 900- und GSM 1800-Mobiltelefonen in verschiedenen Kopfreionen berechnet und zum Teil an Modellen experimentell verifiziert.

Die Altersabhängigkeit der dielektrischen Gewebeeigenschaften führte nicht zu einer charakteristischen Veränderung der bei Mobiltelefonen gemäß der Norm DIN EN 62209-1 zu bestimmenden über 10 g gemittelten Teilkörper-SAR. Auch die Unterschiede der Kopfgeometrien zwischen Kindern und Erwachsenen beeinflussten die Teilkörper-SAR nicht in systematischer Weise, d. h. ein Zusammenhang zwischen Kopfgröße und Teilkörper-SAR konnte weder numerisch noch experimentell belegt werden. Charakteristische Unterschiede der Dicke der Ohrmuschel zwischen Kindern im Alter von 6 bis 8 Jahren und Erwachsenen, die einen Einfluss auf die SAR haben könnten, wurden bei Messungen an Probanden nicht gefunden.

Größere altersbedingte Unterschiede bei den SAR-Verteilungen wurden bei der Exposition einzelner Gewebe und Hirnregionen festgestellt. Bei einzelnen, tief im Gehirn liegenden Regionen kann die über die Gehirnregionen Hypothalamus, Pinealdrüse und Hippocampus sowie das Auge gemittelte SAR bei Kindern in Abhängigkeit der Parameter Alter, Frequenzbereich und Position des Mobiltelefons höher liegen als bei Erwachsenen, in anderen Bereichen und Parameterkombinationen wurde auch eine Verringerung der SAR im Vergleich zu Erwachsenen festgestellt. Beim Knochenmark des Schädels und beim Auge zeigten sich bei Kindern generell höhere gewebespezifische SAR-Werte im Vergleich zu Erwachsenen.

¹² Forschungsprojekt B21: Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differentielle Genexpression

¹³ Forschungsprojekt B17: Untersuchung zu altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter

Diese sind nach Meinung der Autoren im ersten Fall auf die starke Altersabhängigkeit der Gewebeeigenschaften und im zweiten Fall auf den geringeren Abstand zwischen Mobiltelefon und Auge zurückzuführen. Aufgrund ihrer unterschiedlichen relativen Lage im Verhältnis zum Ohr bei Kindern und Erwachsenen können oberflächennahe Regionen des Gehirns in Abhängigkeit von der Verteilung der Hochfrequenzströme des Telefons ebenfalls verschieden stark exponiert werden. Die Ergebnisse der Temperatursimulationen und -messungen weisen nicht darauf hin, dass bei Kindern eine höhere, durch die absorbierte Hochfrequenzleistung im Kopf bedingte Gewebeerwärmung als bei Erwachsenen auftritt.

1.2 Themenbereich Epidemiologie

Seit der SSK-Stellungnahme (SSK 2008) wurden fünf weitere epidemiologische Forschungsvorhaben abgeschlossen.

1.2.1 Mobilfunk

Zur Erfassung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigung durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen wurde eine Querschnittsstudie E8¹⁴ durchgeführt, die sich in drei Abschnitte gliederte:

- Pilotstudie mit Machbarkeitsprüfung,
- Basiserhebung: bundesweite repräsentative Befragung an 51 444 Personen (Response-rate: 58,4 %) zu gesundheitlichen Beschwerden, gekoppelt mit Expositionsdaten durch Geokodierung und
- Vertiefungserhebung¹⁵ in ausgewählten Untergruppen (an 4 150 Personen, Responserate: 85,0 %) mittels Fragebogen und Expositionsmessungen (für 1 500 Personen) zur Risikoanalyse.

Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Exposition durch Mobilfunkbasisstationen und dem berichteten Befinden der Anwohner. Personen, die ihre nicht-spezifischen Gesundheitsprobleme den Mobilfunkbasisstationen zuschreiben, geben vermehrt Beschwerden an. Positiv an der Studie sind die großen Fallzahlen in den Studienteilen, eine große Teilnahmebereitschaft, eine Non-Responderanalyse in der Basiserhebung, die Geokodierung sowie Messungen in der Vertiefungserhebung zur Expositionsabschätzung im Schlafbereich und die Vielfalt der im Vorfeld ausgewählten Untersuchungsmethoden.

In einer weiteren Querschnittsstudie E9¹⁶ wurde der Zusammenhang zwischen der mit Personendosimetern erfassten individuellen Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und dem Befinden von 3 022 Kindern und Jugendlichen untersucht. Bei den Messungen und den ausführlichen Interviews wurde bei den insgesamt 6 386 zur Studienteilnahme aufgeforderten Probanden eine Responserate von 52 % erreicht. Es ließ sich kein Zusammenhang zwischen der RF-EMF-Exposition und chronischen sowie akuten Beschwerden wie Kopfschmerzen, Gereiztheit, Nervosität, Schwindel, Angst, Einschlafprobleme und Müdigkeit finden. Einzelne signifikante Ergebnisse (2 von insgesamt 36 Tests) hinsichtlich akuter Beschwerden am Abend (eine größere Gereiztheit bei Jugendlichen sowie Konzentrationsprobleme bei Kindern) ergaben kein konsistentes Bild. Es bleibt jedoch offen, ob die Exposition ursächlich für die berichteten Gesundheitsbeschwerden ist oder ob diese Ausdruck einer vermehrten Mobilfunknutzung sind. Darüber hinaus wurde von den

¹⁴ Forschungsprojekt E8: Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigung durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen (Quebeb)

¹⁵ Forschungsprojekt E6: Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie

¹⁶ Forschungsprojekt E9: Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern

Durchführenden festgestellt, dass diese Ergebnisse bei Durchführung einer Bonferroni-Korrektur für multiples Testen nicht mehr signifikant gewesen wären. Daher wurden sie als Zufallsbefunde gewertet.

In dem Projekt E10¹⁷ wurde das in einem früheren DMF-Projekt¹⁸ entwickelte Expositions-Surrogat-Modell anhand von Messdaten validiert, die mit Personendosimetern ermittelt wurden. In das Expositions-Surrogat-Modell wurden sowohl technische Daten der Mobilfunkanlage (Funksystem, Montagehöhe, Geokoordinaten sowie Sicherheitsabstände) als auch Angaben von Teilnehmern und Interviewern der Querschnittsstudie zu den örtlichen Verhältnissen, zum Beispiel Landnutzungsclassen, Stockwerkhöhe, Bebauung und Vegetation einbezogen. Auf Basis der realen Input-Parameter und einer umfangreichen Sensitivitätsanalyse bezüglich individueller Parametereinflüsse ergab sich eine ungenügende Übereinstimmung des Expositionsmodells in Hinsicht auf seine Vorhersage auf individueller Ebene, wobei sich unter anderem die Ungenauigkeit der Geokoordinaten von Basisstationen und Wohnungen als besonders problematisch herausgestellt hat. Das Modell ist nur für eine erste grobe Expositionsclassifizierung geeignet und dies auch nur bei hinreichend genauen Eingangsdaten.

Das Projekt E7¹⁹ beschäftigte sich mit Möglichkeiten der retrospektiven Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie. Ziel war es hierbei, am anatomischen Ort des Tumors bei der Fallgruppe der INTERPHONE-Studie eine individuelle Aussage über die kumulative absorbierte Energie durch Mobiltelefonnutzung zu bestimmen (Wake et al. 2009, Cardis et al. 2008). Da die individuelle Bestimmung der SAR-Verteilung bei allen Studienteilnehmern unter Berücksichtigung aller jeweils benutzten Mobilfunktechnologien und Telefentypen wegen der großen Zahl der dann durchzuführenden Rechnungen bei weitem den verfügbaren Rahmen gesprengt hätte, wurde zuerst eine „Klassenbildung“ einer Vielzahl von Mobiltelefonen durchgeführt (Clusterung), wobei alle Mobiltelefone einer Klasse ähnliche Konturen der SAR-Verteilung aufwiesen. Die einzige robuste Clusterung, die sich ergab, war eine Unterteilung nach Frequenzband (800–900 MHz / 1 500 MHz / 1 800–1 900 MHz). Durch Berechnungen an einer Vielzahl von Mobiltelefonen jeweils einer Klasse wurde deren normierte generische räumliche SAR-Verteilung gewonnen. Diese relative Verteilung wurde dann mit individuellen Nutzungsdauern verknüpft, wobei auch Faktoren wie Leistungsregelung, DTX, Landnutzungsclassen sowie die Verwendung von Headsets einbezogen wurden. Eine Berücksichtigung des Einflusses der Hand des Telefonierenden erfolgte jedoch nicht. Die individuelle Gewichtung der SAR-Verteilung für einen Probanden wurde dann aber nicht mit dem konkreten jeweiligen SAR-Wert des benutzten Telefons, sondern mit dem Medianwert aller Geräte der zugehörigen Klasse vorgenommen.

Die gewählte Vorgehensweise ist vor dem Hintergrund der notwendigen Vereinfachungen wegen großer Gerätevielfalt sinnvoll und praktikabel. Bei einer retrospektiven Betrachtung ergeben sich grundsätzlich relevante Unsicherheitsbeiträge der einzelnen Einflussfaktoren, wobei kritisch anzumerken ist, dass im Bericht einige Einflussgrößen nicht nachvollziehbar beschrieben und willkürlich festgelegt werden. Eine Abschätzung der gesamten Unsicherheit für die kumulative Exposition erfolgt nicht, so dass nicht abgeschätzt werden kann, in wieweit

¹⁷ Forschungsprojekt E10: Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie zu Befindlichkeitsstörungen durch die Felder von Basisstationen

¹⁸ Forschungsprojekt D7: Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes ‚Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen‘ untersucht werden

¹⁹ Forschungsprojekt E7: Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie

ein solcherart berechneter Wert belastbar ist und für die weitere Verwendung der INTERPHONE-Studie angewendet werden darf.

1.2.2 Rundfunk- und Fernsehsender

Der Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber Rundfunk- sowie Fernsehsendern und Leukämie im Kindesalter wurde in einer epidemiologischen Fall-Kontrollstudie untersucht²⁰. Die Studie basiert auf insgesamt 1 959 im Deutschen Kinderkrebsregister gemeldeten Kindern im Alter bis 14 Jahre, die zwischen 1984 und 2003 an einer primären Leukämie erkrankten und die im Umkreis von 16 Lang- und Mittelwellensendern bzw. 8 UKW-/TV-Sendern Westdeutschlands lebten bzw. gelebt haben. Kontrollen wurden aus der Bevölkerung zufällig nach Alter, Geschlecht, Senderregion und Meldezeitpunkt im Verhältnis 1:3 gematcht. Die Auswertung der Daten ließ keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Risiko an Leukämie zu erkranken und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Fernseh- und Radiosendern erkennen. Dies gilt auch bei getrennter Betrachtung der Felder von AM- und UKW/TV-Sendern.

Eine Stärke der Studie sind die hier verwendeten epidemiologischen Verfahren zur Rekrutierung von Fällen und Kontrollen. Besonders hervorzuheben ist auch die individuelle Expositionsbestimmung, die über eine Schätzung der mittleren Exposition für Wohnadressen der Fälle im Jahr vor dem Diagnosezeitpunkt und entsprechend für die gematchten Kontrollen vorgenommen wurde. Diese Schätzung erfolgte auf Basis eines Feldstärkemodellierungsverfahrens, das ursprünglich zur Überprüfung der Rundfunkversorgung entwickelt wurde. Voraussetzung für die Schätzungen waren historische Daten zu Betriebszuständen der Sender. Die daraus abgeleiteten Schätzverfahren wurden mit aktuellen und historischen Messdaten validiert.

Für die anschließende statistische Analyse wurde die Exposition auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten in Klassen geteilt. Dabei wurden Studienteilnehmer, deren Exposition unterhalb der 90sten Perzentile lag, für die Analyse als nicht- bzw. niedrigexponiert betrachtet. Die Wahl dieses Cut-offs wird von den Autoren mit der schiefen Verteilung der Expositionsdaten begründet.

1.3 Themenbereich Dosimetrie

Die vier zum Zeitpunkt der SSK-Stellungnahme zum DMF in 2008 (SSK 2008) noch nicht abgeschlossenen Forschungsprojekte behandeln folgende Themengebiete:

- Exposition in komplizierten Immissionsszenarien (D12)
- Dielektrische Gewebeeigenschaften auf Zellebene (D13)
- Einfluss von Antennen- und Gehäusetopologien auf die SAR (D14)
- Exposition durch Ultra-Wideband Technologien (D15).

Ziel des Forschungsvorhabens D12²¹ war es, ein praktikables rechentechnisches Verfahren zu entwickeln, mit dem die SAR-Werte in komplexen realen Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen (körperfern (z. B. Mobilfunkbasisstationen oder Rundfunksender), körpernah (z. B. WLAN-Router oder DECT-Basisstationen) und Körperkontakt

²⁰ Forschungsprojekt E5: Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen

²¹ Forschungsprojekt D12: Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen

(z. B. Mobiltelefon oder DECT-Telefon)) berechnet werden können. Diese Aufgabenstellung ist vor dem Hintergrund der stetig steigenden Zahl verschiedenartiger hochfrequenter Feldquellen mit unterschiedlichem Abstand zu Personen (z. B. Ersatz von Kabelverbindungen durch Kurzstreckenfunk im Heimbereich, Aufbau des TETRA- und LTE-Basisstationsnetzes) sowie der nur ansatzweisen Berücksichtigung ihrer Superposition in den derzeitigen Grenzwertempfehlungen wichtig und aktuell.

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde ein modularer Ansatz gewählt: Im Modul A wurde ein Katalog mit mehreren Hundert berechneten Verteilungen der absorbierten intrakorporalen Leistung erstellt, wobei zwischen Quellszenarien mit Körperkontakt sowie körpernahen und körperfernen Quellen unterschieden wird. Im Modul B wurden, je nach Definition des realen Szenarios durch den Nutzer, die zu berücksichtigenden Quellen den geeigneten Absorptionsverteilungen des Katalogs nach Modul A zugeordnet. Um die Daten im Hinblick auf die unterschiedlichen Quellen sowie die Umgebung der Person und der Quelle adäquat zu gewichten, wurde – mit Hilfe bewährter Ausbreitungs- und Kanalmodelle – eine Analyse des Übertragungswegs vorgenommen. Abschließend wurden im Modul C die im Modul B ermittelten und geeignet gewichteten Verteilungen der absorbierten Leistung für den gesamten Körper und für Teilkörperbereiche mit 10 g Gewebemasse aufsummiert und auf die jeweilige Masse bezogen, so dass die Ganzkörper-SAR und das Maximum der Teilkörper-SAR bestimmt und mit den geltenden Grenzwerten verglichen wurden. Durch diese Herangehensweise wird die bislang nur von Experten durchführbare feldtheoretische Analyse der Absorption im Gewebe durch die Erstellung eines Katalogs vereinfacht, auf dessen Daten auch Nicht-Experten zurückgreifen und durch Definition des realen Szenarios die Immissionen bestimmen können. Die Struktur eröffnet außerdem die Möglichkeit, neue Technologien, Gerätenutzungen und Körpermodelle zu einem späteren Zeitpunkt in den Katalog zu integrieren und dadurch das Verfahren auf dem aktuellen Stand zu halten.

Das erarbeitete Rechenmodell stellt einen Kompromiss aus Genauigkeit und praktischer Anwendbarkeit dar. Bei der Anwendung des Modells auf typische Szenarien bestätigte sich, dass körperferne Quellen im Gegensatz zu körpernah betriebenen Quellen im Regelfall einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Gesamtexposition von Personen ausüben. Grenzwertüberschreitungen aufgrund der Kumulation von Einzelimmissionen konnten nicht beobachtet werden; für eine abschließende Beurteilung dieser Fragestellung ist allerdings eine weitaus größere Anzahl an Szenarien – insbesondere im Bereich der multiplen Nahfeldexposition – zu untersuchen.

Vor dem Hintergrund der Diskussion um mögliche nicht-thermische Effekte wie Resonanzen und nichtlineare Vorgänge im zellulären Bereich widmete sich das Forschungsvorhaben D13²² der Fragestellung, ob die makroskopischen dielektrischen Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen. Hierzu wurden dielektrische Messungen im Frequenzbereich von 100 MHz bis 40 GHz an Wasser, Elektrolytlösungen, Modellmembranen, Blut, Erythrozyten- und Zellsuspensionen bei 20° C bis 60° C mit der Coaxial-Probe-Messmethode durchgeführt. Ergänzt wurden sie durch Permeabilitätsmessungen an Modellmembranen, Melanomzellen, Fibroblasten und Keratinozyten mit der Patch-Clamp-Methode sowie durch theoretische Modellbildungen.

Die dielektrischen Messungen bestätigen mit einer Ausnahme das in der Literatur beschriebene dielektrische Verhalten von Elektrolytlösungen und Zellsuspensionen. Die Ausnahme betrifft Messungen an Vollblut und an Erythrozyten, wo im Bereich von ca. 3 GHz

²² Forschungsprojekt D13: Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen

eine schwache zusätzliche Relaxation beobachtet wurde, die zur Leitfähigkeit etwa 20 % beiträgt. Der Grund für diese Relaxation bleibt jedoch unklar und eine Diskussion dieser Beobachtung hinsichtlich der in den derzeitigen Normen und Empfehlungen vorgeschriebenen Mittelungen der SAR über makroskopische Gewebemassen erfolgt seitens der Autoren nicht.

Die Autoren konnten bei keinem der analysierten biologischen Systeme nicht-lineare Effekte in Abhängigkeit von der außen angelegten Feldstärke finden, die eine Voraussetzung für Demodulationserscheinungen darstellen würden. Bei den Patch-Clamp-Messungen an den drei verschiedenen humanen Zellsystemen wurden im Bereich der Messgenauigkeit bis zu SAR-Werten von 15 W/kg keine reproduzierbaren „gating“-Effekte in den Ionenkanalströmen und damit auf die Membranpermeabilität gefunden. Es konnten keine Anhaltspunkte für das Auftreten von resonanten Phänomenen an Zellmembranen gefunden werden, die auf spezielle Absorptionsvorgänge in den Zellen hinweisen würden.

Insofern stellen die Untersuchungen – mit Ausnahme der schwachen zusätzlichen Relaxation bei 3 GHz in Blut bzw. an Erythrozytensuspensionen – eine Bestätigung des derzeitigen Kenntnisstandes dar. Es ist allerdings fraglich, ob mit den eingesetzten Untersuchungsmethoden potenzielle, noch nicht bekannte mikroskopische Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder mit dem Gewebe aufzudecken gewesen wären.

Im Projekt D14²³ wurde untersucht, wie durch konstruktionsbedingte Optimierung an Antenne und Gehäuse die SAR des Benutzers von Endgeräten drahtloser Kommunikationsdienste gesenkt werden kann, ohne die Kommunikationseigenschaften einzuschränken. Die Berechnungen wurden mit Hilfe der Finiten-Differenzen-Methode im Zeitbereich (FDTD) an einem Notebook mit Einsteckkarte und Bluetooth-Adapter, einer DECT-Basisstation und einem WLAN-Router durchgeführt. Als Körpermodell für einen Erwachsenen wurde das hoch aufgelöste anatomische Körpermodell des „Visible Human“ verwendet; das Modell eines Jugendlichen ergab sich aus einer Skalierung des Erwachsenenmodells. Darüber hinaus wurde durch Anwinkelung der Knie-, Hüft- und Ellenbogengelenke das Modell einer sitzenden Person generiert. Es wurden insgesamt 46 verschiedene Konfigurationen betrachtet, die bezüglich Positionierung der Endgeräte und Körperhaltung des Nutzers einen realistischen Einsatz der Endgeräte im Wohnungs- und Arbeitsumfeld widerspiegeln.

Als Ergebnis der Arbeiten wurde festgestellt, dass die untersuchten Endgeräte den Grenzwert nur zu einem geringen Prozentsatz ausschöpfen. In vielen Fällen hat sich die Ausschöpfung des Teilkörper-SAR-Wertes im Vergleich zum Ganzkörper-SAR-Wert als größer herausgestellt. Die größten Werte traten dabei in der Regel in den Gliedmaßen auf (bei sitzenden Modellen in den Händen). Im ungünstigsten Fall der untersuchten Szenarien (Notebook auf den Oberschenkeln des Nutzers) ergaben sich bei maximaler Sendeleistung eine maximale Ausschöpfung von ca. 11 % des Ganzkörper-SAR-Wertes beim Jugendlichen und ca. 37 % hinsichtlich des Teilkörper-SAR-Wertes beim Erwachsenen. Durch gezielte geräteseitige Optimierung, vor allem bezüglich einer Verlagerung der Antennen, ließe sich noch eine erhebliche Reduzierung der SAR (beispielsweise bis zu 80 % bei Verlagerung der PCMCIA-Funkschnittstelle auf die Rückseite des Notebook-Displays) ohne Verschlechterung der Übertragungsqualität erreichen. Diese Ergebnisse können für Expositionssituationen mit multiplen Quellen zweckmäßig sein, vor allem im Hinblick auf zukünftige Neuentwicklungen drahtloser Kommunikationsdienste.

²³ Forschungsprojekt D14: Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsegeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte

Ein zusätzliches Vorhaben D15²⁴ untersuchte verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Exposition von Ultra-Wideband (UWB) Technologien. Außerdem wurden messtechnische und numerische Expositionserfassungen durchgeführt.

Für Messungen im Fernfeld einer UWB-Quelle sind aufgrund der besseren Empfindlichkeit Spektrumanalysatoren gegenüber Oszilloskopen zu bevorzugen. SAR-Messungen können derzeit mangels geeigneter gewebsmodellierender Flüssigkeiten und Messsonden nicht sinnvoll durchgeführt werden. Messungen an vier verschiedenen UWB-Geräten ergaben in 15 cm Abstand zeitlich gemittelte Expositionen von maximal 0,32 mW/m². Zeitliche Spitzenwerte lagen bei maximal 2,4 mW/m². Für Anwendungen mit Körperkontakt wurden primär numerische Berechnungen durchgeführt. Diese ergaben unter „worst-case“-Bedingungen (100 % Ausnutzung des in Europa zulässigen Sendespektrums) maximale SAR_{10g} Werte von 0,013 W/kg. Für reale Bedingungen (geringere spektrale Effizienz) werden diese Werte nochmals um 1–2 Größenordnungen geringer sein. Die in Europa maximal zu erwartenden spezifischen Absorptionen (SA_{10g}) sind typischerweise kleiner als 10⁻⁸ J/kg und schöpfen damit, wie alle anderen Werte auch, nur Bruchteile der gültigen Grenzwerte aus. Im Vergleich zu anderen EMF-Quellen im Heimbereich (WLAN, DECT) spielt UWB damit nur eine untergeordnete Rolle. Obwohl diese Geräte in Europa derzeit erst eingeführt werden und für die Messungen nur vier Geräte zur Verfügung standen, ermöglicht die Arbeit durch ihre Herangehensweise eine belastbare Einschätzung der Expositionen durch UWB-Geräte.

2 Zusammenfassende Bewertung

Die SSK hat im Jahre 2008 eine erste Bewertung des DMF auf Grund der damals vorliegenden Ergebnisse vorgenommen, wobei eine Reihe von Fragen offen bleiben musste. Die vorliegende Stellungnahme nimmt diese Einschätzung auf und ergänzt sie auf der Basis der neuen, mittlerweile abgeschlossenen Vorhaben.

Insgesamt zeigen die vorliegenden Projektberichte, dass die durchgeführten Forschungsprojekte überwiegend ein hohes wissenschaftliches Niveau aufweisen.

Die ursprünglichen Forschungsempfehlungen der Strahlenschutzkommission zum Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm lassen sich in folgendem Fragenkatalog zusammenfassen:

- Gibt es eine potenzielle krebsinitiiierende oder krebspromovierende Wirkung?
- Gibt es eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke?
- Gibt es eine Beeinflussung neurophysiologischer und kognitiver Prozesse sowie des Schlafes durch Mobilfunkfelder?
- Gibt es Elektrosensibilität und Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunkfelder?
- Gibt es Effekte chronischer Exposition auf das Blut und das Immunsystem?
- Gibt es Auswirkungen chronischer Exposition auf die Reproduktion und Entwicklung?
- Welche Expositionen verursachen Funk-Technologien?
- Sind Kinder einem erhöhten gesundheitlichen Risiko ausgesetzt?
- Wie wird das EMF-Risiko wahrgenommen und wie kann die Risikokommunikation verbessert werden?

²⁴ Forschungsprojekt D15: Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband-Technologien

In dieser Stellungnahme wird auf die Fragen unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms und der zwischenzeitlich erschienenen internationalen Literatur eingegangen.

2.1 Gibt es eine potenzielle krebsinitiierende oder krebspromovierende Wirkung?

Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist die Frage nach möglichen Langzeitwirkungen, insbesondere von potenziell krebsinitiierenden oder krebspromovierenden Wirkungen, von besonderem Interesse. Eine größere Zahl epidemiologischer Studien untersuchte, ob Assoziationen zwischen Expositionen und Krebserkrankungen existieren. Generell ist die Aussagekraft epidemiologischer Untersuchungen über potenzielle Langzeitwirkungen von Mobiltelefonnutzung insbesondere für langsam wachsende Tumoren und Erkrankungen mit langen Latenzen aufgrund der bisher begrenzten Dauer des Einsatzes der Technologie eingeschränkt. Hinzu kommen bei der Bewertung entsprechender Ergebnisse zu berücksichtigende methodische Schwierigkeiten bezüglich der Expositionserfassung (z. B. unzureichend genaue Bestimmung der relevanten Exposition, ungenügende Berücksichtigung der Hintergrundexposition, Verzerrung durch ungenaue Erinnerung sowie Verzerrung durch die Auswahl von Studienteilnehmern), der begrenzten Möglichkeit zur Erhebung individueller Confounder, der Auswahl einer geeigneten Vergleichsgruppe in Fall-Kontrollstudien sowie der Festlegung von unterschiedlichen Expositionsklassen auf Basis der relativen Verteilungen von Expositionsdaten als Grundlage weiterführender epidemiologischer Analysen.

Im DMF wurden Projekte durchgeführt, die aus epidemiologischer Sicht primär einen Beitrag zur Beantwortung der Frage nach einer potenziell krebsinitiierenden oder krebspromovierenden Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder liefern sollten.

Eine sorgfältig durchgeführte Fall-Kontrollstudie zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Leukämie bei Kindern und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Rundfunk- und Fernsehsendern an insgesamt 1 959 Patienten im Alter bis 14 Jahre ergab keinen Hinweis darauf, dass von Rundfunk- und Fernsehsendern ein zusätzliches Risiko ausgeht, an Leukämie zu erkranken. In Südkorea wurde nahezu zeitgleich eine Fall-Kontrollstudie an 1 928 an Leukämie erkrankten Kindern und 956 Kindern mit Hirntumoren im Alter unter 15 Jahre und einer gleichen Anzahl an Krankenhaus-Kontrollen durchgeführt. Eine korrigierte Analyse (Ha et al. 2008) der ursprünglich publizierten Daten (Ha et al. 2007) ergab keinen Hinweis auf eine Erhöhung des Gesamt-Leukämierisikos. Bei der Analyse unterschiedlicher Expositionsmaße ergaben sich für den Parameter „Peak Exposure“ für das höchste Expositionsquartil zwei unterschiedliche Ergebnisse, nämlich einerseits ein erhöhtes Risiko für lymphatische Leukämien und andererseits eine Schutzwirkung für myeloische Leukämien, die von den Autoren nicht näher diskutiert werden. Eine anschließende gepoolte Auswertung der Datensätze aus Deutschland und Südkorea ergab jedoch keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Leukämie im Kindesalter (Schüz und Ahlbom 2008).

Die außerhalb des DMF zum Krebsrisiko in der näheren Umgebung von Mobilfunkbasisstationen vorliegenden Studien sind nur wenig belastbar. In zwei Untersuchungen mit ökologischem Studiendesign aus Deutschland und Israel war eine in Abhängigkeit von der Distanz höhere Krebsinzidenzrate in größerer Nähe zur betrachteten Mobilfunkbasisstation beobachtet worden (Eger et al. 2004, Wolf und Wolf 2004), wobei hier kritisch anzumerken ist, dass die Ergebnisse auf nur kleinen Fallzahlen und der als unzureichend anzusehenden Verwendung des Abstandes als Surrogat für die Exposition

beruhen. In einer britischen Fall-Kontrollstudie, die alle Krebserkrankungen bei Kindern im Alter von 0–4 Jahren aus dem britischen Krebsregister der Jahre 1999–2001 umfasste, konnte kein Zusammenhang zwischen dem Risiko im frühen Kindesalter an Krebs zu erkranken und Schätzwerten für die Exposition der Mutter durch Basisstationen während der Schwangerschaft festgestellt werden (Elliott et al. 2010). Obwohl insgesamt drei Expositionssurrogate (Distanz zwischen der nächst gelegenen Basisstation und dem Wohnort, die summierte Sendeleistung aller Basisstationen im Umkreis von 700 m und die auf Basis von Distanz, Charakteristika der Basisstation und geografischen Gegebenheiten abgeschätzte Leistungsflussdichte) herangezogen wurden, bleiben in der Studie andere RF-Expositionsquellen unberücksichtigt. Eine Schwäche der Studie liegt darin, dass die tatsächliche Exposition nicht gemessen wurde und die ersten beiden Surrogate als nicht geeignet angesehen werden müssen.

Da bei der Benutzung von Mobiltelefonen vor allem der Kopf exponiert ist, beschäftigen sich viele Untersuchungen mit dem Auftreten von Tumoren in diesem Bereich. Ersten Hinweisen auf ein möglicherweise erhöhtes Uveal-Melanom-Risiko durch Mobiltelefonnutzung (Stang et al. 2001) wurde in einer mit Mitteln aus dem DMF kofinanzierten, wesentlich umfangreicheren Studie nachgegangen (Stang et al. 2009). Es konnte kein Zusammenhang mit der Benutzung von Mobiltelefonen gefunden werden.

Die bisher größte internationale Studie über Mobilfunknutzung und Krebserkrankungen („INTERPHONE-Studie“) wurde von der International Agency for Research on Cancer (IARC) koordiniert und umfasste 16 Einzelstudien aus 13 Ländern. Die ausgewerteten Daten umfassten neben den Erkrankungsarten als Endpunkte deren Lokalisation und als unabhängige Variablen die Nutzungsdauer (bis über 10 Jahre) der Mobiltelefone und kumulative Angaben über die Anzahl der geführten Telefonate und Gesprächsdauern. Die Daten zur Mobilfunknutzung wurden durch Interviews erhoben. Die meisten Einzelergebnisse sind veröffentlicht und flossen in die Analyse von Ahlbom et al. (2009) ein. Die Gesamtergebnisse für die Endpunkte Meningiome und Gliome sind zwischenzeitlich veröffentlicht worden (INTERPHONE 2010).

Sowohl bei Meningiomen als auch Gliomen wurden weitgehend unabhängig von der Gesprächsdauer überwiegend statistisch signifikant erniedrigte Risikoschätzer gefunden. Die einzige statistisch signifikante Erhöhung zeigte sich bei Gliomen und zwar nur bei der höchsten kumulativen Gesprächsdauer (> 1 640 Stunden). Dieser singuläre Befund wird jedoch durch die übrigen Daten nicht gestützt. So zeigen sich weder bei der kumulierten Anzahl der getätigten Anrufe, noch bei der Analyse nach Nutzungsjahren signifikant erhöhte Risikoschätzer (in der Tat waren hier alle Risikoschätzer *geringer* als die der Kontrollgruppe). Die Autoren schließen systematische Fehler bei der Datenerhebung nicht aus, da protektive Effekte durch die Nutzung von Mobiltelefonen unplausibel seien. Zu den Fehlern, die in der Publikation ausführlich diskutiert wurden, gehören solche, die durch die Befragung von Verwandten („proxys“) entstanden, da die Erkrankten selbst nicht mehr in der Lage waren, die Fragen zu beantworten oder bereits verstorben waren. Weiterhin fanden sich unplausible Angaben zu Gesprächsdauern (z. B. über 12 Stunden pro Tag, die ausschließlich von den Erkrankten bzw. den „proxys“ angegeben wurden), Erinnerungsfehler („recall bias“) sowie unterschiedliche Teilnahmeraten von gesunden Kontrollpersonen und Erkrankten („participation bias“). Schließlich zeigten die Daten sowohl bei Meningiomen als auch bei Gliomen zunächst unplausible, häufig signifikant geringere Risikoschätzer für die auf der Nutzung gegenüberliegenden Kopfseite, die allerdings ebenfalls durch einen „recall bias“ erklärbar werden. Insgesamt lassen die Ergebnisse der INTERPHONE-Studie keinen Schluss auf einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und dem Auftreten von Hirntumoren (Gliome und Meningiome) zu.

Im Hinblick auf die methodischen Unsicherheiten bei der Expositionserfassung sind die zwei im Zusammenhang mit epidemiologischen Studien stehenden dosimetrischen Studien zu nennen, die im Rahmen des DMF gefördert wurden. Eine retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie sowie die Validierung des in Querschnittstudien zu Befindlichkeitsstörungen verwendeten Expositionssurrogats für die Felder von Basisstationen zeigten, dass es hier noch Optimierungsmöglichkeiten und -bedarf gibt.

Der Bericht der Swedish Radiation Safety Authority (SSM 2010), der die Studien bis 2010 berücksichtigt, kommt zu dem Ergebnis, dass ein Kurzzeitrisko für Hirntumore sehr wahrscheinlich nicht existiert. Sollte dieses Risiko existieren, müsste es sich auch als Langzeitrisko zwischenzeitlich zeigen, außer es wäre ein sehr geringes Risiko. Zwei Berichte SCENIHR (2009) und SSM (2010) weisen auf noch fehlende Langzeitstudien zum Krebsrisiko insbesondere bei Kindern hin. Auch die WHO sieht Forschungsbedarf an prospektiven Kohortenstudien zur Kindergesundheit unter Einbeziehung des Endpunktes Krebs (WHO 2010, van Deventer et al. 2011). Dort wird zudem vorgeschlagen, das Vorkommen von Hirntumoren auf Basis von Krebsregisterdaten zu erfassen und hinsichtlich eines Zusammenhangs mit ökologischen Expositionsdaten zu untersuchen. Darin wird die Möglichkeit gesehen, Probleme des individuellen Expositionsmonitorings und der mangelnden Teilnahmebereitschaft früherer Studien zu vermeiden. Dieser Ansatz muss jedoch kritisch betrachtet werden, da bei diesem Vorgehen eine zufällige Expositionsmissklassifikation unvermeidbar ist und somit potenzielle Effekte unterschätzt werden (Brunekreef 2008, Rööslü 2007). Dies wiederum würde der Problematik der gesundheitlichen Relevanz von Mobilfunkexpositionen nicht gerecht, da hier allenfalls nur geringe Effekte zu erwarten sind.

Eine multinationale (Dänemark, Norwegen, Schweden und Schweiz) Fall-Kontrollstudie an 352 Kindern und Jugendlichen (7-19 Jahre) mit Hirntumoren sowie 646 nach Alter, Geschlecht und Region gematchten Kontrollen (CEFALO) ergab keinen Hinweis auf eine Assoziation zwischen dem Mobilfunkgebrauch und einem Risiko für das Auftreten von Hirntumoren (Aydin et al. 2011). Die Autoren folgern aus ihren Ergebnissen, dass das Fehlen einer Expositions-Response-Beziehung sowohl im Hinblick auf das Ausmaß der Mobilfunknutzung als auch in Bezug auf die Tumorlokalisierung gegen einen kausalen Zusammenhang spricht. Für eine weitere internationale Fall-Kontrollstudie über einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Hirntumoren bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Alter von 10 bis 24 Jahren (MOBI-KIDS) und Kommunikationstechnologien einschließlich Mobilfunk hat die Datenerhebung in 2010 begonnen. Die Studie soll in einem Zeitraum von 5 Jahren durchgeführt werden. In insgesamt 13 Ländern, darunter auch Deutschland, sollen insgesamt 2 000 Patienten mit einem Hirntumor und eine gleich große Kontrollgruppe rekrutiert werden.

Neben diesen beiden groß angelegten Fall-Kontrollstudien zu Hirntumoren im jüngeren Lebensalter wird derzeit auch eine prospektive Kohortenstudie durchgeführt, in der Inzidenz- und Mortalitätsdaten für verschiedene Erkrankungen (Krebserkrankungen, gutartige Tumoren, neurologische und zerebrovaskuläre Erkrankungen) sowie Veränderungen in der Häufigkeit von unspezifischen Symptomen wie Kopfschmerzen und Schlafstörungen als Zielvariable untersucht werden (Schüz et al. 2011). Diese Studie an einer geplanten Kohorte von ca. 250 000 Mobiltelefonnutzern im Alter von über 18 Jahren (COSMOS), die bis zu einer Dauer von mehr als 25 Jahren prospektiv untersucht werden sollen, wird in Dänemark, Schweden, Finnland, den Niederlanden und Großbritannien durchgeführt. Deutschland ist an dieser Studie nicht beteiligt, da eine im Rahmen des DMF geförderte Machbarkeitsstudie ergeben hatte, dass eine Studie nach diesen Studiendesign-Vorgaben zwar grundsätzlich

möglich wäre, jedoch wegen der sehr geringen Teilnahmebereitschaft unrealistisch viele Nutzer von Mobiltelefonen kontaktiert werden müssten, um eine ausreichende Beteiligung zu gewährleisten.

Die Möglichkeit eines potenziell erhöhten Krankheitsrisikos durch die Exposition hochfrequenter Felder bei beruflich Exponierten wurde in einer weiteren im DMF geförderten Machbarkeitsstudie²⁵ untersucht. Sie kam zu dem Schluss, dass aus verschiedenen Gründen (z. B. Kohortengröße, Mischexposition, Expositionserfassung) für eine epidemiologische Studie kein passendes Studiendesign entwickelt werden konnte.

Zusammengefasst ist festzustellen, dass die überwiegende Mehrheit der epidemiologischen Studien keinen Beleg für einen Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und Krebserkrankungen liefert. Das methodische Problem der epidemiologischen Untersuchung der Langzeitnutzung und einer dadurch erfolgten Induktion von Tumoren mit großer Latenzzeit bleibt bestehen. Es wird dadurch verschärft, dass sich die Technologien und Expositionsbedingungen im Lauf der Jahre erheblich geändert haben.

Zur besseren Beurteilung der Langzeitnutzung besteht ein besonderes Interesse an der Aufklärung grundlegender Mechanismen. Wenn es möglich wäre, eine genotoxische Wirkung oder eine Beeinflussung der Genregulation nachzuweisen und durch einen plausiblen Mechanismus zu erklären, wie z. B. bei ionisierenden Strahlen, so würde dies auf eine karzinogene Wirkung auch von Mobilfunkfeldern hindeuten. Dies ist der Grund dafür, dass viele Arbeitsgruppen sich in der Vergangenheit mit der angesprochenen Problematik beschäftigt haben. Die SSK hat diese Thematik bereits früh aufgegriffen und kam in einer eingehenden Stellungnahme zu dem Schluss, dass auf Grund der damals vorliegenden Literatur sich keine hinreichenden Beweise weder für eine genotoxische Wirkung noch für einen Einfluss auf die Genregulation von Mobilfunkfeldern im Bereich der gültigen Grenzwerte finden lassen (SSK 2007a). In der Zwischenzeit sind eine Reihe neuer Publikationen zu diesem Themengebiet erschienen. In einem ausführlichen Übersichtsartikel weisen Verschaeve et al. (2010) darauf hin, dass sogenannte „athermische“ Effekte in manchen Fällen durch nicht erfasste Temperaturerhöhungen verursacht sein könnten. Sie kommen zu dem Schluss, dass auch neuere Arbeiten kein konsistentes Bild ergeben. Nach Meinung der Autoren ist die Evidenz für genotoxische Effekte von Mobilfunkfeldern schwach. In der als „Ringversuch“ konzipierten Studie im Rahmen des DMF wurden verschiedene experimentelle Indikatoren für mögliche genotoxische Effekte in stimulierten menschlichen Lymphozyten untersucht. Trotz nicht unerheblicher Unterschiede zwischen den beteiligten Labors ist insgesamt festzustellen, dass in der weit überwiegenden Zahl der Versuche keine genotoxischen Effekte gefunden wurden.

Veränderungen der Genregulation könnten im Prinzip bei der Krebspromotion eine Rolle spielen, und es ist daher von Bedeutung festzustellen, ob hierbei Mobilfunkfelder einen Einfluss haben. Auch zu diesem Themenkreis existiert eine umfangreiche Literatur, aus der sich jedoch keine eindeutigen Schlüsse ziehen lassen. Mehr noch als bei direkten Veränderungen der genetischen Information besteht bei Studien zur Genregulation die Notwendigkeit einer präzisen Exposition und Dosimetrie, da auch kleine Wärmeeinwirkungen deutliche Effekte hervorrufen können. Dies gilt vor allem für „Hitzeschockproteine“. Es wird sogar die Meinung vertreten, dass ihre Aktivierung ein klares Indiz für thermische Effekte darstellt (Gaestel 2010).

²⁵ Forschungsprojekt E1: Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hochexponierter (Berufs-)Gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen

In den letzten Jahren wurden für die Untersuchungen zur Genexpression moderne Methoden der Genomik eingesetzt, denen häufig eine besondere Aussagekraft im Hinblick auf die Nachweismöglichkeit „nichtthermischer“ Effekte zugeschrieben wird. Im Zentrum stehen dabei Experimente zur „genomweiten“ Erfassung der Genaktivität mit Hilfe von „Microarrays“, bei denen eine sehr große Zahl von Daten generiert wird. Aus statistischen Gründen besteht hier die Gefahr „falsch positiver“ Befunde, so dass eine Absicherung durch unabhängige Methoden (z. B. RT-PCR, „western blotting“) notwendig ist. In einer umfassenden Übersicht kommen Vanderstraeten und Verschaeve (2008) zu dem Schluss, dass die Aussagekraft der bisherigen Studien noch nicht geklärt ist, zumal überzeugende theoretische und experimentelle Argumente für eine Beeinflussung der Genaktivität durch Mobilfunkfelder fehlen. Das sehr umfangreiche und sorgfältig durchgeführte Vorhaben im Rahmen des DMF²⁶ bestätigt diese Vorbehalte, signifikante Veränderungen konnten bei niedrigen SAR-Werten nicht gefunden werden. Damit zeigt sich eine grundsätzliche Übereinstimmung mit dem schon im vorhergehenden Berichtszeitraum im Hinblick auf Einflüsse auf die Blut-Hirn-Schranke gewonnenen Ergebnisse²⁷. Auch hier konnten signifikante Einflüsse auf die Genregulation nicht gefunden werden.

Generell ist im Zusammenhang mit Studien auf zellulärer Ebene festzustellen, dass systematische Untersuchungen bisher fehlen, in denen vielfältigere Parameter zyto- und genotoxischer Wirkungen umfassend erhoben werden. Sie basieren überwiegend nur auf wenigen erfassten Parametern wie jene aus dem „Comet-Assay“ und dem „Mikrokern-Test“, in keinem Fall wurde z. B. eine Mutagenität durch Expositionen im Bereich der gesetzlichen Grenzwerte festgestellt. Die Mutagenität wäre aber eine notwendige Bedingung für eine mögliche Krebsinduktion, da die meisten karzinogenen Agentien auch eine mutagene Wirkung zeigen. Es fehlen u. a. der Einsatz etablierter Methoden mit bakteriellen Testsystemen, die Erfassung der Koloniebildungsfähigkeit sowie der Veränderungen des Zellzyklus. Es gibt zu den angesprochenen Fragestellungen zwar einzelne Arbeiten, z. B. zu Mutationen (Hamnerius et al. 1985, Chang et al. 2005, Koyama et al. 2007), es fehlt jedoch der Gesamtzusammenhang, da von den verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen Expositionsszenarien gearbeitet wurde. Ein kohärentes Bild lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht gewinnen, die weit überwiegende Mehrheit der publizierten Ergebnisse stützt jedoch nicht die Vermutung, dass Mobilfunkfelder im Bereich der Grenzwerte genotoxische Veränderungen hervorrufen.

Auch bei den im DMF durchgeführten Untersuchungen an Tieren konnte weder eine krebsinitiierende noch eine -promovierende Wirkung gefunden werden. Diese neueren Ergebnisse stehen im Einklang mit den bereits abgeschlossenen bzw. publizierten Projekten des DMF sowie der Gesamtschau der internationalen Literatur (Übersichten bei Sommer et al. 2010 und Tillmann et al. 2010). Insgesamt festigen die Resultate die Gesamteinschätzung, dass schädigende Einflüsse durch hochfrequente elektromagnetische Felder als unwahrscheinlich anzusehen sind. Besonders hervorzuheben ist, dass in „worst-case“-Szenarien auch unter Dauerexpositionen im Bereich des Grenzwertes über mehrere Generationen keine Beeinflussungen der Fertilität, der Sterblichkeit oder Entwicklung der Nachkommen und weiterer Endpunkte festgestellt wurden. Zwar ist eine generelle Limitierung von Tierstudien, dass sie nicht uneingeschränkt auf Menschen übertragbar sind, allerdings sind die negativen Befunde, vor allem das Fehlen reproduzierbarer, karzinogener

²⁶ Forschungsprojekt B21: Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differentielle Genexpression

²⁷ Forschungsprojekt B10: In-vitro-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke

Effekte, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus In-vitro-Studien und ergeben daher ein konsistentes Bild.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die im Rahmen des DMF durchgeführten Untersuchungen keine Anhaltspunkte für eine krebsinitiiierende oder -promovierende Wirkung erbracht haben. Damit befinden sie sich in Übereinstimmung mit den meisten publizierten Studien, die sie zum Teil wesentlich ergänzt haben.

Die Bewertung der Gesamt-Evidenz für einen potenziellen kausalen Zusammenhang zwischen Mobilfunkexposition und Karzinogenität nach Methodik der SSK kann den Beiträgen aus verschiedenen wissenschaftlichen Ansätzen (physikalisches Wirkmodell, biologisches Wirkmodell, Dosis-Wirkung, In-vitro-Studien, In-vivo-Studien und epidemiologische Studien) abgeleitet werden (SSK 2011). So ist die Evidenz aus physikalischen Wirkmodellen unzureichend (E0), hinsichtlich möglicher biologischer Wirkmodelle ist die Datenlage für eine Evidenzklassifizierung unzureichend (D1), für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt es unzureichende Evidenz (E0), die Datenlage aus In-vitro-Studien ist widersprüchlich (D2), auch die Evidenzen aus In-vivo-Studien und epidemiologischen Untersuchungen sind unzureichend (E0). Die Zusammenschau dieser Beiträge ergibt somit eine unzureichende Evidenz für die Kanzerogenität von Mobilfunkexpositionen (Tabelle 1).

Tab. 1: Gesamtbewertung der Evidenzlage für Mikrowellen (MW) (SSK 2011)

MW	Physikal. Wirkmodell	Biolog. Wirkmodell	Dosis-Wirkung	In-vitro-Studien	In-vivo-Studien	Epidem. Studien	Gesamt-Evidenz
Evidenz	E0	D1	E0	D2	E0	E0	E0

E0: keine bzw. unzureichende Evidenz für das Vorhandensein bzw. das Nicht-Vorhandensein eines Zusammenhangs: Sie ist gegeben, wenn nur eine begrenzte Anzahl von Studien vorliegt, die jedoch überwiegend keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition und Karzinogenität zeigen. Die Studien können dabei von begrenzter Größe sein, unzureichend viele Endpunkte umfassen, müssen aber mit ausreichender methodischer Qualität durchgeführt worden sein. Ferner müssen die Ergebnisse von unabhängigen Gruppen wenigstens teilweise reproduziert worden sein. Confounding und Bias sollten gering sein. Es muss möglich sein, die Ergebnisse durch das bestehende Grundlagenwissen zu erklären.

D1: unzureichende Datenlage: Sie folgt aus vorliegenden Studien unzureichender Größe, mit unzureichender methodischer Qualität, mit einer unzureichenden Anzahl von Endpunkten und wahrscheinlichem Bias und Confounding.

D2: widersprüchliche Datenlage: Sie ergibt sich, wenn Studien mit widersprüchlichen Ergebnissen bezüglich eines Zusammenhanges zwischen Exposition und Karzinogenität vorliegen, die von unabhängigen Gruppen nicht reproduziert wurden und bei denen Bias und Confounding nicht ausgeschlossen werden können.

Mit dieser Einschätzung kommt die SSK zu einer anderen Bewertung als die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO), die in ihrer Sitzung im Mai 2011 hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (Klasse 2B) eingestuft hat. Die „begrenzte Evidenz“ („limited evidence“) für die Kanzerogenität der HF-EMF basiert laut einem zusammenfassenden Bericht der IARC (Baan et al. 2011) auf positiven Assoziationen zwischen Gliomen sowie Akustikusneurinomen und HF-EMF von drahtlosen Telefonen (Mobiltelefone und Schnurlostelefone). Weiterhin wird „begrenzte Evidenz“ für eine Kanzerogenität aus den Ergebnissen von experimentellen Tierstudien gesehen.

Für die Einschätzung hinsichtlich Gliome und Akustikusneurinome waren für die IARC die Teilergebnisse der INTERPHONE-Studie (INTERPHONE 2010, Cardis et al. 2011) sowie einer schwedischen Arbeitsgruppe (Hardell et al. 2011) und einer japanischen Arbeitsgruppe (Sato et al. 2011) relevant.

Zwei Artikel (Cardis et al. 2011, Laarjavaara et al. 2011) berichten über Untergruppen aus dem INTERPHONE-Gesamtkollektiv. Cardis et al. (2011) finden bei Langzeitnutzern ein angedeutetes („suggested“) höheres Risiko für Gliome und in geringerem Maße für Meningiome in Relation zur am Tumorort absorbierten Hochfrequenzenergie. Diese wurde mit Hilfe eines Modells abgeschätzt, wobei aufgrund einer fehlenden Unsicherheitsanalyse nicht beurteilt werden kann, ob die Abschätzung tatsächlich belastbar ist und für Auswertungen der INTERPHONE-Studie angewendet werden darf (siehe auch Abschnitt 1.2.1). Laarjavaara et al. (2011) berichten aufgrund ihrer Analysen, dass Gliome nicht vorzugsweise dort im Gehirn auftreten, wo die größte Feldstärke für hochfrequente elektromagnetischer Felder aufgrund des Abstandes zwischen Mittelpunkt des Glioms und Expositionsquelle (berichtete typische Lokalisation des Mobiltelefons) angenommen wurde. Allerdings werden Laarjavaara et al. (2011) nur in der Pressemitteilung der IARC vom 31. Mai 2011 zitiert, nicht hingegen im dazugehörigen Lancet-Artikel (Baan et al. 2011). Cardis et al. (2011), die eine Assoziation finden, werden hingegen auch im Lancet-Artikel zitiert (Baan et al. 2011). Zitiert werden darüber hinaus Sato et al. (2011), die über ipsilaterale Akustikusneurinome bei > 20 min durchschnittlicher Gesprächsdauer berichten, obwohl die Autoren ihre Ergebnisse anzweifeln („This increased risk should be interpreted with caution ...“). Auch in der INTERPHONE-Publikation zu Akustikusneurinomen (INTERPHONE 2011) wird die Assoziation in der höchst exponierten Gruppe sehr kritisch beurteilt („This increase could be due to chance, reporting bias or a causal effect“). Bereits in der zusammenfassenden Auswertung (INTERPHONE 2010) des gesamten INTERPHONE-Kollektivs wurde von den Autoren, die auch an den vorgenannten Studien zum Teil beteiligt waren, keine Assoziation zwischen Gliomen und Meningiomen und der berichteten Nutzung von Mobiltelefonen gesehen. Die Mitglieder der IARC-Gruppe geben diese zusammenfassende Aussage so in dem Lancet-Artikel (Baan et al. 2011) nicht wieder.

Hardell et al. (2011) betrachten erneut ein schwedisches Kollektiv und finden Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Latenzzeit bis zum Auftreten von Hirntumoren und kumulierter Mobilfunkexposition. Es handelt sich um gepoolte Daten aus Vorstudien derselben Autoren. Kritisch an den Studien dieser Arbeitsgruppe ist anzumerken, dass die Expositionsermittlung auf postalisch versendeten Fragebögen basiert, die von den Betroffenen oder ihren Angehörigen selbst ausgefüllt wurden. Dies ist ein großer methodischer Nachteil gegenüber Studien, bei denen die Befragungen durch geschulte Interviewer durchgeführt wurden. Außerdem waren die Kriterien für Ausschlüsse und die Zusammensetzung der Fallgruppen problematisch (Ahlbom et al. 2009). Schließlich ist ein Widerspruch zu sehen zwischen den sehr starken Effekten, die von Hardell et al. beobachtet wurden, und der Tatsache, dass die Inzidenzraten von Hirntumoren in den vergangenen Jahrzehnten nicht angestiegen sind (Swerdlow et al. 2011).

Die Einschätzung der IARC für einen Zusammenhang aus den Ergebnissen von experimentellen Tierstudien basiert auf den positiven Ergebnissen von lediglich drei Studien (Repacholi et al. 1997, Szmigielski et al. 1982, Hruby et al. 2008) gegenüber einer Vielzahl von negativen Ergebnissen anderer Studien (insgesamt wurden mehr als 40 Studien ausgewertet). Allerdings weisen die Studien aus Sicht der SSK folgende Schwachstellen auf: Die Ergebnisse der Untersuchungen von Repacholi et al. (1997) konnten durch Untersuchungen von Utteridge et al. 2002 und Oberto et al. 2007 nicht bestätigt werden (siehe auch SSK 2007a). Die zweite zitierte Studie (Szmigielski et al. 1982, eingereicht 1980) untersuchte die Auswirkungen von 2 450 MHz EMF auf die Tumorzinidenzen (spontaner Brustdrüsenkrebs bzw. chemisch induzierter Hautkrebs) in Mäusen, wobei die resultierenden mittleren Ganzkörper-SAR-Werte von den Autoren mit 2-8 W/kg angegeben wurden und damit stellenweise im thermischen Bereich lagen. Die verwendete Dosimetrie (SAR-Bestimmung) dieser Studie, die vor mehr als 30 Jahren durchgeführt wurde, ist aus heutiger

Sicht als unzureichend einzustufen. Auch die dritte Studie (Hruby et al. 2008) ist nicht geeignet, einen Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und DMBA-induzierten Krebsraten in Ratten zu belegen, wie die Autoren selbst einräumen. Sie halten die Ergebnisse für „ziemlich zufällig“ („rather incidental“), da die Tumorraten keine Dosis-Wirkungs-Beziehung erkennen ließen und die höchsten Tumorraten in den (nicht exponierten) Käfigkontrollen auftraten.

Auch in Kenntnis der von IARC aufgeführten Studien bleibt die SSK bei ihrer Einschätzung (SSK 2007a), dass die Daten nicht auf einen Zusammenhang zwischen Mobilfunkexposition und krebsinitiierenden oder krebspromovierenden Wirkungen hinweisen.

Ein unmittelbarer zusätzlicher Forschungsbedarf besteht in der Epidemiologie zurzeit nicht, da erst die Ergebnisse angelaufener Studien abgewartet werden sollten (COSMOS, MOBI-KIDS). Es wäre notwendig, die Frage möglicher genotoxischer Wirkungen durch eine umfassend angelegte Studie grundlegend zu klären. Dabei sollten möglichst viele verfügbare Tests (Albertini et al. 2000, Brendler-Schwaab et al. 2004) eingesetzt werden. Hierbei ist es wichtig, hohe Standards der Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle zu gewährleisten. Die bisher durchgeführten multizentrischen Studien erfüllen diese Bedingungen nicht vollständig, da sie sich nur auf wenige experimentelle Endpunkte beschränkten (PERFORM-B (Stronati et al. 2006), REFLEX (EU 2004)), was auch für die im DMF geförderten Vorhaben^{28,29} gilt.

Grundsätzlich regt die SSK an, EMF- Forschung künftig stärker auf ein Hypothesen-basiertes Design von Studien zu stützen. Die Wirkungshypothesen sollten dabei auch im Verbund mit Grundlagenuntersuchungen abgeklärt werden, wobei etablierte Erkenntnisse der Strahlenbiologie berücksichtigt werden sollten.

2.2 Gibt es eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke?

In drei Vorhaben des DMF zur Untersuchung der Integrität der Blut-Hirn-Schranke (BHS) wurde mit unterschiedlichen experimentellen Ansätzen übereinstimmend gefunden, dass sie durch Mobilfunkfelder im Bereich der bestehenden Grenzwerte nicht verändert wird. Dies gilt sowohl für funktionelle Parameter wie die Durchlässigkeit als auch für die Expression relevanter Gene. Die durchgeführten Untersuchungen zeichnen sich durchweg durch hohen wissenschaftlichen Standard aus. Damit konnten früher publizierte Ergebnisse über eine Beeinflussung der BHS nicht bestätigt werden.

Die neuere Literatur verzeichnet nur eine Studie, in welcher ein Einfluss auf die Blut-Hirn-Schranke gefunden wurde (Eberhardt et al. 2008). Die stärksten Effekte wurden nicht bei den höchsten, sondern bei den niedrigsten SAR-Werten gefunden. Dies steht im Gegensatz zu früher berichteten Ergebnissen derselben Arbeitsgruppe.

In einer ausführlichen Diskussion kommen auch die Autoren des Berichts der Swedish Radiation Safety Authority (SSM 2009) zu dem Schluss, dass die im Wesentlichen von einer Arbeitsgruppe festgestellten Veränderungen der Blut-Hirn-Schranke von anderen nicht bestätigt werden konnten und dass daher Zweifel an der Allgemeingültigkeit angebracht seien. Diese Beurteilung deckt sich mit der von EFHRAN (2010). Zwei weitere zusammenfassende Darstellungen gelangen zu demselben Ergebnis (Stam 2010, Perrin et al. 2010). In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass schon leichte Temperaturerhöhungen um 1 °C die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke verändern

²⁸ Forschungsprojekt B16: Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut

²⁹ Forschungsprojekt B21: Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differentielle Genexpression

können (Stam 2010), was die Notwendigkeit einer sorgfältigen Versuchsdurchführung herausstreicht.

Die Projekte im Rahmen des DMF haben auch mit neuen methodischen Ansätzen keine Effekte auf die BHS gefunden. Das DMF konnte somit erheblich zur Klärung der strittigen Frage beitragen. Insgesamt gibt es keine ausreichende Evidenz für eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke durch Mobilfunkexpositionen im Bereich der Grenzwerte. Es ergibt sich daher zu dieser Frage kein weiterer Forschungsbedarf.

2.3 Gibt es eine Beeinflussung neurophysiologischer und kognitiver Prozesse sowie des Schlafes durch Mobilfunkfelder?

Bei der Untersuchung eines möglichen Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf das zentrale Nervensystem (ZNS) ist zu unterscheiden zwischen Einflüssen auf das Gehirn im relativen Ruhezustand einerseits und bei kognitiver Beanspruchung andererseits. Im Hinblick auf den relativen Ruhezustand kann noch einmal unterschieden werden zwischen einem Zustand, bei dem exogene Einflußfaktoren weitgehend ausgeschlossen werden können (Schlaf) und einem Gehirn im entspannten Wachzustand. Außerdem ist zu trennen zwischen Studien zum Einfluss auf den Schlaf, bei denen die Aussagen auf physiologischen Parametern basieren, d. h. auf einem Schlaf-EEG, und Studien, die auf subjektiven Einschätzungen zur Schlafqualität basieren (siehe 2.4), wobei letztere mehr oder weniger stark von der messbaren Schlafqualität abweichen können. Diese werden zusammen mit anderen subjektiven Parametern zur Befindlichkeit diskutiert.

2.3.1 Sinnesorgane

Untersuchungen zur Funktion von Sinnesorganen wurden im vorhergehenden Berichtszeitraum abgeschlossen (SSK 2008). Zwei Projekte beschäftigten sich mit dem akustischen System^{30,31}, eines mit dem visuellen System³². Mit Hilfe verschiedener methodischer Ansätze konnte eine Beeinflussung von Hör- oder Sehvermögen, insbesondere die Auslösung von Tinnitus, durch Mobilfunkfelder weitgehend ausgeschlossen werden.

2.3.2 EEG

2.3.2.1 Schlaf-EEG

Untersuchungen an Probanden zur Beeinflussung der Gehirnaktivität im Schlaf zeigen inkonsistente Ergebnisse. Drei Vorhaben innerhalb des DMF^{33,34,35} kamen zu dem Schluss, dass eine Beeinträchtigung des Schlafes durch Mobilfunkfelder nicht bestätigt werden konnte. Insbesondere konnte die von einer Schweizer Arbeitsgruppe um Achermann (siehe u. a. Regel et al. 2007) wiederholt (wenn auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Verlauf der Nacht) beobachtete Erhöhung der EEG-Power im Spindelfrequenzbereich im NREM-Schlaf nicht

³⁰ Forschungsprojekt B11: Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)

³¹ Forschungsprojekt B18: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem

³² Forschungsprojekt B12: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System

³³ Forschungsprojekt B19: Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen

³⁴ Forschungsprojekt B5.: Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen

³⁵ Forschungsprojekt B20: Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen

bestätigt werden. Eine mögliche Ursache für die abweichenden Ergebnisse zwischen den methodisch korrekt durchgeführten Studien könnte in den unterschiedlichen Expositionsszenarien liegen. In der im DMF durchgeführten Studie wurde über die gesamte Nacht exponiert, während die Schweizer Arbeitsgruppe mit wenigen Ausnahmen 30 min vor Schlafbeginn exponiert hat. Ein weiterer Unterschied besteht in der Größe der exponierten Hirnregion, die in den Schweizer Untersuchungen deutlich größer war.

Bei den Untersuchungen wurden in erster Linie mobiltelefonartige Signale und SAR-Werte als auch solche verwendet, die für Basisstationen charakteristisch sind, wobei letztere SAR-Werte aufwiesen, wie sie bei Mobiltelefonen auftreten.

Während in methodisch belastbaren Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die Schlafarchitektur bisher konsistent keine schlafstörenden Effekte beobachtet werden konnten, wurde in einer schwedischen Untersuchung an Personen, die ihre Beschwerden auf Mobilfunk zurückführten, ein signifikant reduzierter Tiefschlafanteil und damit verbunden eine verlängerte Tiefschlaflatenz nach Exposition beobachtet (Lowden et al. 2011). Parallel dazu war ein signifikanter Anstieg des Schlafstadiums NREM2 zu beobachten. Da weder die Einschlafzeit noch „Wach nach Schlafbeginn“ sowie der Leichtschlafanteil erhöht sind, lassen sich diese Ergebnisse nicht zwangsläufig im Sinne einer Schlafstörung interpretieren.

Eine abschließende Wertung im Hinblick auf Effekte auf das Schlaf-EEG ist derzeit noch nicht möglich, weiterer Forschungsbedarf ist daher gegeben. Zu dieser Einschätzung gelangt auch die Swedish Radiation Safety Authority (SSM 2010). Ein erster Schritt könnte darin bestehen, dass die an dieser Thematik arbeitenden Gruppen zur verstärkten Zusammenarbeit angeregt werden, um vergleichende Paralleluntersuchungen durchzuführen. Darüber hinaus sollte eine mögliche Altersabhängigkeit über die gesamte Lebensspanne, d. h. nicht nur bei Kindern sondern auch bei älteren Personen untersucht werden.

2.3.2.2 Entspanntes Wach- (Ruhe-) EEG

Eine Beeinflussung der EEG-Power durch Exposition mit elektromagnetischen Feldern wird nicht nur für den Schlaf beschrieben, sondern auch für das Wach-EEG, wobei hier das alpha-Frequenzband (Grundrhythmus des Ruhe-EEGs bei ca. 85 % der Bevölkerung) betroffen zu sein scheint. Viele ältere Untersuchungen sind methodisch zu kritisieren (u. a. wegen eines einfach-blinden Expositionsdesigns), neuere Untersuchungsergebnisse sind z. T. widersprüchlich. In der vom DMF geförderten Studie³⁶ konnte gezeigt werden, dass ein Tageszeit-Effekt stärker ausgeprägt war als ein Expositionseffekt. In einer Studie von Croft et al. (2010) wurde die Altersabhängigkeit eines Expositionseffekts auf die EEG-Power im alpha-Frequenzbereich für GSM und UMTS untersucht. Während sich für UMTS wie auch in der DMF-Studie keine Veränderung unter Exposition beobachten ließ, konnte in der australischen Studie (Croft et al. 2010) ein Effekt eines gepulsten GSM-Signals auf die alpha-Power im Ruhe-EEG nur in der Altersgruppe der 19–40-Jährigen beobachtet werden, bei Jugendlichen (13–15 Jahre) und älteren Personen (55–70 Jahre) dagegen nicht.

Ein weiterer Hinweis auf die Altersabhängigkeit eines EMF-Effekts auf die alpha-Aktivität im Wach-EEG ergibt sich aus einer Studie von Vecchio et al. (2010), in der bei älteren Personen (47–84 Jahre) im Vergleich zu jüngeren (20–37 Jahre) eine statistisch signifikant höhere interhemisphärische Kohärenz des frontalen und temporalen alpha-Rhythmus beobachtet wurde, was Ausdruck der Verstärkung der altersbedingt fortschreitenden Synchronisation des dominanten EEG-Rhythmus unter Exposition sein könnte.

³⁶ Forschungsprojekt B19: Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen

Wie für das Schlaf-EEG gilt auch für das Ruhe-EEG im Wachzustand, dass weiterer Forschungsbedarf gegeben ist, insbesondere unter Berücksichtigung möglicher altersabhängiger Effekte. Dabei ist auf ein stringentes Versuchsprotokoll zu achten (Regel und Achermann 2011).

2.3.3 Kognitive Funktionen

In Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen ist zu unterscheiden zwischen Studien, in denen Verhaltensparameter (Reaktionszeiten und/oder Fehler bzw. Auslassungen in der Reaktion auf Reize) ausgewertet werden und solchen, in denen Reiz-gekoppelte EEG-Veränderungen betrachtet werden.

Für ereigniskorrelierte und langsame Hirnpotenziale (Contingent Negative Variation – CNV, Bereitschaftspotenzial – BP, langsames Potenzial bei der visuellen Folgereaktion – VMT und akustisch evozierte Potenziale) konnten in der vom DMF geförderten Studie bei statistischer Kontrolle der Tageszeit weder für GSM- noch für UMTS- Exposition signifikante Effekte beobachtet werden. Die Anzahl der Studien hierzu ist vergleichsweise gering und die Ergebnisse ergeben ein uneinheitliches Bild. In einer Studie von de Tommaso et al. (2009) wurde an insgesamt 10 Personen (20–31 Jahre) eine über den Kopf diffus verteilte verminderte Amplitude der CNV unter Exposition beobachtet. Die Autoren interpretieren ihre Ergebnisse als Ausdruck einer Reduktion des „Arousal“ und der Erwartung durch Warnreize, die sowohl durch das GSM-Signal als auch durch die von der Batterie und Schaltkreisen ausgehenden ELF-Komponenten vermittelt werden.

In Studien zu akustisch evozierten Potenzialen an Kindern (Kwon et al. 2010a) und jungen Erwachsenen (Kwon et al. 2009, Kwon et al. 2010b) wurde kein Effekt elektromagnetischer Felder von Mobiltelefonen gefunden, wobei zumindest in der Studie an Kindern kein doppelt verblindetes Versuchsschema angewandt wurde.

Im Rahmen des im DMF durchgeführten Projekts B19³⁷ wurden neben möglichen EEG-Veränderungen unter kognitiver Beanspruchung auch Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten als Zielparameter untersucht. Die Ergebnisse ließen keinen Effekt elektromagnetischer Felder des Mobilfunks (GSM und UMTS) auf kognitive Funktionen erkennen, wohl aber die Notwendigkeit einer strikten Kontrolle der Tageszeit in entsprechenden Untersuchungen (siehe auch Sauter et al. 2011). Zwei Übersichtsarbeiten aus den Jahren 2009 (van Rongen et al. 2009) und 2010 (Valentini et al. 2010) sowie eine Meta-Analyse (Barth et al. 2011) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass elektromagnetische Felder des Mobilfunks keinen Einfluss auf kognitive Funktionen haben, und dass dies bei Kindern nicht anders ist als bei Erwachsenen (van Rongen et al. 2009).

Versuche mit Ratten bei Langzeitexposition (0,4 W/kg, GSM 900 MHz, UMTS 1 966 MHz), die sehr sorgfältig durchgeführt wurden³⁸, zeigten zwar, dass Gedächtnis- und Lernleistungen der Versuchstiere nicht verschlechtert waren, aber die Übertragbarkeit auf Menschen kann nicht ohne Weiteres als gegeben angesehen werden, sie verringern jedoch die Wahrscheinlichkeit derartiger Effekte. Diese Ergebnisse sind ohne Zweifel wichtig, aber die Fragestellung kann, wie oben ausgeführt, noch nicht als abschließend geklärt betrachtet werden.

³⁷ Forschungsprojekt B19: Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen

³⁸ Forschungsprojekt B9: In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen, Teilprojekt Operante Verhaltensuntersuchungen zur Lern- und Gedächtnisleistung

In einer Studie mit Langzeitexposition (918 MHz, 0,25 W/kg SAR, 2 Stunden pro Tag) von transgenen Alzheimer-Modell-Mäusen konnte eine signifikante Verbesserung von Gedächtnis und kognitiven Leistungen im Vergleich zu einer nicht exponierten Kontrollgruppe beobachtet werden (Arendash et al. 2010). Die Ergebnisse bedürfen jedoch einer Replikation mit einem verbesserten Design und größeren Gruppen.

In einer Studie an Wistar-Ratten mit UMTS Exposition (0, 2 und 10 W/kg SAR) für die Dauer von 120 min zeigten sich bei Exposition mit 2 W/kg in der hippocampal abgeleiteten synaptischen Langzeit-Potenzierung (LTP) und der Langzeit-Unterdrückung (LTD) als Indikatoren für die Speicherung und Konsolidierung von Gedächtnisinhalten keine Unterschiede zur scheinexponierten Gruppe. Bei Exposition mit 10 W/kg zeigte sich dagegen eine signifikante Reduktion LTP und LTD (Prochnow et al. 2011). Die Autoren schließen daraus, dass eine UMTS-Exposition von 2 W/kg für Marker von Gedächtnisspeicherung und -konsolidierung nicht nachteilig sind. Bei höherer Exposition kommt es jedoch zu einer über die stressbedingte Reaktion hinausgehenden Beeinflussung.

Die WHO sieht für tierexperimentelle Studien Forschungsbedarf zum Einfluss von RF-Exposition auf alternde Individuen und die Entwicklung neurodegenerativer Erkrankungen. Bei epidemiologischen Studien sieht sie Bedarf für Fall-Kontrollstudien an Patienten mit neurologischen bzw. neurodegenerativen Erkrankungen sowie für Humanstudien im Bereich von Provokationsstudien an Kindern unterschiedlicher Altersklassen (WHO 2010, van Deventer et al. 2011). Die SSK unterstützt dies und empfiehlt darüber hinaus die Durchführung von Provokationsstudien, in denen ein möglicher Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf die Gehirnfunktion (einschließlich Schlaf- und Wach-EEG in Ruhe) auf das alternde Gehirn untersucht wird. Bei bekannten strukturellen und funktionellen Veränderungen des Gehirns mit zunehmendem Alter, die letztlich in neurodegenerativen Erkrankungen resultieren können, würde hier eine weitere Kenntnislücke zwischen Kindheit und Alzheimer-Erkrankung zu schließen sein.

In Studien zu möglichen kognitiven Effekten elektromagnetischer Felder sind neben einer belastbaren Dosimetrie mit entsprechendem Expositionsprotokoll auch zahlreiche andere Faktoren zu beachten, die einen möglichen Einfluss auf die Testergebnisse haben können, wie z. B. das Expositionsdesign (Cross-over vs. Parallelgruppendesign, Exposition vor bzw. während der Testung, Vermeidung von Carry-over-Effekten), die Probandenauswahl (Alter, Geschlecht, Ein- und Ausschlusskriterien), der Konsum von koffeinhaltigen Getränken und Alkohol, die Motivation, die Testabfolge und Dauer der Tests sowie auch die Tageszeit. In einer Studie an 30 jungen gesunden Männern konnten Sauter et al. (2011) zeigen, dass nach Korrektur für multiples Testen nur noch die Tageszeit, nicht aber die Exposition einen Einfluss auf die Ergebnisse kognitiver Tests hatte.

2.4 Gibt es Elektrosensibilität und Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunkfelder?

Im Rahmen des DMF wurden zwei epidemiologische Studien durchgeführt, in denen ein möglicher Zusammenhang zwischen Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Beschwerden allgemein sowie körperliche und psychische Lebensqualität einerseits und elektromagnetischen Feldern von Mobilfunkbasisstationen andererseits untersucht wurde. Weder in der Studie an mehr als 30 000 Personen, in der ein auf Geokoordinaten basierendes Expositionssurrogat verwendet wurde, noch in der Vertiefungsstudie an 1 326 Personen mit Messungen der Exposition im Schlafzimmer konnte ein Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und gesundheitlichen Beeinträchtigungen bzw. Befindlichkeitsstörungen nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis entspricht Beobachtungen an Kindern. Eine DMF-

Studie³⁹ zu akuten Gesundheitseffekten durch Mobilfunk und individueller Expositionserfassung über 24 Stunden ließ keinen konsistenten Zusammenhang erkennen. In den Studien an Erwachsenen zeigte sich jedoch die Tendenz, dass Personen, die ihre nicht-spezifischen Gesundheitsprobleme Mobilfunkbasisstationen zuschreiben, vermehrt Beschwerden angeben. Dies kann im Sinne eines Noceboeffekts gedeutet werden, der auch im Projekt⁴⁰ des DMF beobachtet werden konnte.

Dass negative Erwartungen in Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf nicht-spezifische Gesundheitsprobleme die Ergebnisse beeinflussen, wird nicht nur in epidemiologischen Untersuchungen deutlich, sondern ist auch für Provokationsstudien an Personen mit selbstberichteter „Elektrosensibilität“ (auch als „IEI-EMF“ (Idiopathic Environmental Intolerance Attributed to Electromagnetic Fields) bezeichnet) dokumentiert (WHO 2005). In einem Review von insgesamt 46 verblindeten oder doppelt-verblindeten Provokationsstudien an insgesamt 1 175 Personen mit IEI-EMF kamen Rubin et al. (2010) zu dem Schluss, dass es keine überzeugende Evidenz dafür gibt, dass elektromagnetische Felder die Symptome, die von dieser Personengruppe beklagt werden, auslösen können. In vielen Studien ergaben sich jedoch Hinweise darauf, dass Noceboeffekte für die Erklärung der akuten Symptome, die von Personen mit IEI-EMF berichtet werden, ausreichen.

In diesem Zusammenhang stellt sich generell die Frage nach den Faktoren, die einer „Elektrosensibilität“ („electromagnetic hypersensitivity“ EHS), die von vielen Menschen als eine ernsthafte Bedrohung ihrer Gesundheit empfunden wird, zugrunde liegen. Die WHO stellt in ihrem „Factsheet“ dazu fest: „EHS is characterized by a variety of non-specific symptoms that differ from individual to individual. The symptoms are certainly real and can vary widely in their severity. Whatever its cause, EHS can be a disabling problem for the affected individual. EHS has no clear diagnostic criteria and there is no scientific basis to link EHS symptoms to EMF exposure. Further, EHS is not a medical diagnosis, nor is it clear that it represents a single medical problem.“ (WHO 2005).

Das DMF hatte sich zum Ziel gesetzt, mit Hilfe von vier vergebenen Vorhaben diesem Phänomen nachzugehen. Drei im Jahr 2008 abgeschlossene Vorhaben hatten keinen belastbaren Anhaltspunkt für den Nachweis der „Elektrosensibilität“ erbracht^{41,42,43}. Kritisch war allerdings anzumerken, dass die Auswahlkriterien nicht immer stringent formuliert waren, so dass die verschiedenen durchgeführten Arbeiten nur eingeschränkt vergleichbar waren. Das Vorhaben B13⁴⁴ sollte ergänzend Aufschluss darüber geben, inwieweit eine Verbindung zwischen EHS und psychosomatischen Faktoren vorliegen könnte. Leider gilt auch hier das oben Gesagte, dass eine klare Abgrenzung der Probandengruppen schwer nachzuvollziehen ist, insofern sind die Ergebnisse nur von begrenztem Aussagewert. Die Hypothese, dass sich „Elektrosensible“ von Kontrollpersonen in Bezug auf die untersuchten Parameter unterscheiden, konnte im Rahmen des Untersuchungsansatzes nicht bestätigt

³⁹ Forschungsprojekt E9: Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern

⁴⁰ Forschungsprojekt B20: Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen

⁴¹ Forschungsprojekt B14: Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter

⁴² Forschungsprojekt B5: Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen

⁴³ Forschungsprojekt R3: Ergänzende Informationen über Elektrosensible

⁴⁴ Forschungsprojekt B13: Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit/bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien

werden. Es bleibt festzustellen, dass es nach wie vor keine objektiven Beweise für das Phänomen der „Elektrosensibilität“ gibt.

Diese Schlussfolgerung stimmt mit den Aussagen verschiedener internationaler Gremien überein (SCENIHR 2009, EFHRAN 2010, SSM 2009).

Damit kann trotz unterschiedlicher Zielgruppendefinition und -rekrutierung in der Zusammenschau mit der internationalen Literatur der Schluss gezogen werden, dass „Elektrosensibilität“ im Sinne eines ursächlichen Zusammenhangs mit der Exposition durch EMF mit großer Wahrscheinlichkeit nicht existiert. Weitere Forschung sollte daher in einem Themenkreis außerhalb der EMF-Forschung erfolgen.

Wie für Studien zum Endpunkt Krebs gilt auch für epidemiologische Studien zu anderen gesundheitsbezogenen Endpunkten, dass eine möglichst exakte Expositionserfassung bei umfassender Berücksichtigung möglicher Einflussgrößen (darunter insbesondere auch die Erwartungshaltung) Grundvoraussetzung für belastbare Aussagen ist. In epidemiologischen Studiendesigns sind entsprechende Daten am ehesten mit einem prospektiven Studiendesign zu erheben. Prospektive Studien, die mit einer sehr großen Kohorte starten müssen, sind jedoch sehr personal- und kostenintensiv in der Durchführung und erfordern ein hohes Maß an Compliance von den Teilnehmern. Für Deutschland hat eine Machbarkeitsstudie gezeigt, dass eine solche Kohortenstudie aufgrund der sehr geringen Teilnahmebereitschaft nicht durchführbar wäre.

2.5 Gibt es Effekte chronischer Exposition auf Blut und Immunsystem?

In einigen älteren Studien, vor allem aus Russland, wurde postuliert, dass Mobilfunkfelder negative Auswirkungen auf das Immunsystem haben könnten (siehe Poullietier de Gannes et al. 2009). Neuere Experimente, die moderne experimentelle Ansätze benutzten, konnten diese Vermutungen nicht bestätigen (Poullietier de Gannes et al. 2009). Im Rahmen des DMF wurde in Langzeitversuchen mit Labornagern in keinem Fall eine Beeinflussung des Immunsystems gefunden, was in Übereinstimmung mit den Arbeiten anderer Autoren den Schluss erlaubt, dass Mobilfunkfelder keinen Einfluss auf das Immunsystem haben.

Auch die immer wieder durchgeführten Untersuchungen zu Effekten auf verschiedene Blutparameter (z. B. Reticulozyten, „Geldrolleneffekt“), z. B. vor und nach der Errichtung einer Mobilfunk-Basisstation, sind aus Sicht des Robert-Koch-Instituts „spekulativ und basieren nicht auf einem validierten diagnostischen Ansatz“ (RKI 2006).

2.6 Gibt es Auswirkungen chronischer Exposition auf Reproduktion und Entwicklung?

Schon in der Stellungnahme der SSK aus dem Jahre 2008 (SSK 2008) wurden die Ergebnisse einer Mehrgenerationenstudie an Labornagern zusammengefasst⁴⁵. Insgesamt ergaben sich keine Hinweise auf nachteilige Effekte der Hochfrequenz (HF)-Exposition auf Prozesse der Fortpflanzung und der Entwicklung in vier aufeinanderfolgenden Tiergenerationen, die während der gesamten Untersuchungszeit durchgehend exponiert waren. Diese Befunde wurden nunmehr durch eine weitere Studie im Rahmen des DMF bestätigt. Vergleichbare Untersuchungen fehlen in der neueren Literatur. Einzelaspekte der Reproduktion von Labortieren unter Feldeinfluss, nämlich Wirkungen auf Spermien, wurden von Dasdag et al. (2008) und Yan et al. (2007) untersucht. Während Dasdag et al. keine Einflüsse feststellen konnten, berichten Yan et al. über eine erhöhte Spermien-Absterberate bei SAR-Werten um 1 W/kg. Beide Arbeiten leiden jedoch an einer nicht adäquaten Expositionseinrichtung sowie

⁴⁵ Forschungsprojekt B22: Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen

nicht hinreichender Dosimetrie, so dass keine belastbaren Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Die Untersuchungen im Rahmen des DMF lassen es als sehr unwahrscheinlich erscheinen, dass durch Mobilfunkexpositionen bis zu den Grenzwerten negative Auswirkungen auf Reproduktion und Entwicklung zu erwarten sind. Die SSK sieht in diesem Bereich keinen aktuellen Forschungsbedarf.

2.7 Welche Expositionen verursachen Funk-Technologien?

Im Rahmen des DMF wurden geeignete Mess- und Berechnungsverfahren zur Erfassung der maximalen und durchschnittlichen Exposition der Allgemeinbevölkerung entwickelt und validiert. Hierbei wurden sowohl ortsfeste Sendeanlagen (Basisstationen von GSM- und UMTS-Mobilfunk, analoge und digitale Hörrundfunk- und Fernsehsender, WLAN Access Points und DECT-Basisstationen) als auch mobile Endgeräte (GSM- und UMTS-Mobiltelefone, WLAN- und DECT-Endgeräte, UWB-Geräte) betrachtet. Die Entwicklung vereinheitlichter Messverfahren ist vor allem vor dem Hintergrund der notwendigen Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messreihen äußerst wichtig.

Die Immission durch *ortsfeste Sendeanlagen* in für die Allgemeinbevölkerung zugänglichen Bereichen liegt bezüglich der Grenzwertausschöpfung durch die Leistungsflussdichte maximal im einstelligen Prozentbereich. Häufig wurden nur Werte im oder unterhalb des Promillebereichs gefunden. Es hat sich bestätigt, dass für Mobilfunk-Basisstationen sowie analoge und digitale Hörrundfunk- und Fernsehsender der Abstand zum Sender als Schätzer für die vorliegende Immission nicht geeignet ist. Einen wesentlich größeren Einfluss auf die Immission haben die Orientierung des Messpunktes zur Hauptstrahlrichtung des Senders sowie die Frage, ob vom Messpunkt aus Sichtverbindung zur Sendeanlage besteht.

Bezüglich der numerischen Immissionsprognose auf individueller Ebene wurde festgestellt, dass die Genauigkeit der Ergebnisse wesentlich von der Qualität und Detailliertheit der Eingabeparameter sowie vom gewählten Ausbreitungsmodell abhängt. Ein neu entwickeltes praktikables rechentechnisches Verfahren zur Ermittlung der SAR-Werte in komplexen realen Immissionsszenarien legt einen ersten Grundstein auf dem Gebiet der Bewertung von Expositionen gegenüber multiplen Quellen unterschiedlichen Benutzerabstandes. Vereinfachte numerische Ansätze zur Immissionsprognose im Rahmen epidemiologischer Studien erwiesen sich auch bei Berücksichtigung der Orientierung des Messpunktes zur Hauptstrahlrichtung und der Sichtverbindung in das Modell allenfalls für eine dichotome Zuordnung in Exponierte und Nicht-Exponierte anwendbar, und auch dies nur bei hinreichender Qualität der Eingabedaten. Eine neue Möglichkeit der Expositionserfassung im Hochfrequenzbereich stellen tragbare Dosimeter dar, die es erlauben, persönliche Immissionsprofile zu erfassen. Die Genauigkeit der Dosimeter (Messgenauigkeit, Empfindlichkeit, Frequenzselektivität, Abschattung durch den Tragenden) muss jedoch noch verbessert werden. Verlässliche Methoden zur Erfassung der Exposition für groß angelegte Expositionsstudien, die derzeit nur ansatzweise existieren, müssen weiter entwickelt und validiert werden.

Ein Projekt zur Erfassung des Immissionszustandes vor und nach der Umstellung von Analog-TV auf DVB-T hat gezeigt, dass die Umstellung auf digitale Sendeverfahren nicht grundsätzlich mit einer Verringerung der Exposition, sondern auch mit Erhöhungen verbunden sein kann. Zu berücksichtigen sind hier Veränderungen in der installierten Sendeleistung sowie der Sendernetzkonfiguration.

Bezüglich Basisstationen haben einige numerische Studien außerhalb des DMF gezeigt, dass eine Ganzkörperexposition in Höhe der Referenzwerte von Kindern und kleinen Personen mit

Körpergrößen kleiner als 1,5 m unter „worst-case“-Bedingungen zu einer Überschreitung der Basisgrenzwerte (über den Körper gemittelte SAR-Werte) bei Frequenzen um etwa 100 MHz und im Bereich 1-4 GHz führen kann (Dimbylow und Bolch 2007, Conil et al. 2008, Kuehn et al. 2009, Christ et al. 2011). Eine Studie mit anatomisch korrekten numerischen Modellen von Kindern und unter Berücksichtigung von altersabhängigen Gewebeparametern (Christ et al. 2011) findet eine Überschreitung der Basisgrenzwerte um 30 % bei 100 MHz und um mehr als 50 % zwischen 1,5 und 4 GHz. Diese Ergebnisse belegen eine Inkonsistenz des bisher zu Grunde gelegten Zusammenhangs von Basisgrenzwerten und Referenzwerten in diesen Frequenzbereichen.

Bezüglich der von *Endgeräten* verursachten Exposition haben die dosimetrischen Studien gezeigt, dass bei körpernaher Anwendung wesentlich höhere Expositionen als durch ortsfeste Sendeanlagen festzustellen sind. Die Referenzwerte können bei körpernaher Anwendung von einigen Mobiltelefonen und Babyphonen überschritten werden, allerdings liegen auch hier die Expositionen unterhalb der zulässigen Basisgrenzwerte. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die völlige Ausschöpfung der Grenzwerte durch eine einzige Quelle aus Sicht der SSK nicht akzeptabel ist (SSK 2007b).

Die Leistungsregelung von Mobiltelefonen führt in der Regel zu einer Verringerung der Exposition gegenüber dem normativ bestimmten SAR-Wert. Sie ist von Netzstruktur und Betreiber abhängig und kann betreiberseitig eingeschränkt sein. Durch gezielte geräteseitige Optimierung, vor allem durch eine verbesserte Positionierung der Antenne, lässt sich eine erhebliche Reduzierung der SAR ohne Verschlechterung der Übertragungsqualität erreichen. Untersuchungen in teilgeschirmten Räumen, z. B. in PKW und Bahnen, haben gezeigt, dass für Nichttelefonnutzer die durch benachbarte Mobiltelefone verursachte SAR um den Faktor 10 gegenüber der Situation im Freien erhöht sein kann, dass jedoch diese zusätzlichen Expositionen insgesamt auf sehr niedrigem Niveau bleiben. Damit konnten Arbeiten, die aufgrund vereinfachter theoretischer Ansätze über eine Überschreitung der Grenzwerte in teilgeschirmten Räumen berichteten, nicht bestätigt werden. Lediglich bei Annäherung des Mobiltelefons an reflektierende Metallstrukturen kann es für Telefonierer zu SAR-Erhöhungen um bis zu ca. 50 % im Vergleich zur Nutzung im Freien kommen.

Bei epidemiologischen Studien in Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung ist die Expositionsabschätzung, insbesondere die retrospektive, mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Im Rahmen der INTERPHONE-Studie wurde ein Modell entwickelt, mit dem bei der Fallgruppe am anatomischen Ort des Tumors eine individuelle Aussage über die kumulative absorbierte Energie durch Mobiltelefonnutzung bestimmt wurde. Allerdings kann aufgrund der zahlreichen Unsicherheitsbeiträge nicht abgeschätzt werden, inwieweit ein solcherart berechneter Wert belastbar ist. Die Problematik der retrospektiven Expositionsabschätzung bei Mobiltelefonnutzung ist weiterhin als nicht geklärt anzusehen.

Es ist notwendig, die Veränderung der Immissionen und Nutzungsszenarien durch Einführung neuer Funktechnologien technikbegleitend messtechnisch zu überwachen. Auf diese Weise können zeitnah Informationen über Technik und Exposition in die Risikobewertung einfließen. Hierbei ist die gleichzeitige Exposition durch mehrere Quellen zu berücksichtigen, da einzelne Quellen nicht den gesamten Expositionsspielraum in Anspruch nehmen sollten (SSK 2007b). Eine Herausforderung ist die Anpassung von Messtechnik und Messverfahren auf zukünftig immer höherfrequenterer (z. B. Terahertz-Technologien) und breitbandigere (z. B. UWB-Technologie, LTE-Advanced) Funkdienste.

Bei Exposition im Fernfeld von Sendeanlagen ist offen, welche Immissionsgröße (räumlicher Mittelwert oder Maximalwert) zur Überprüfung der Konformität von Sendeanlagen ermittelt werden sollte. Die derzeit in zahlreichen Immissionsmessnormen präferierte

„Punktrastermethode“ (Messung der Referenzwerte an einem, die Person des Exponierten nachbildenden Punkteraster mit nachfolgender Mittelung der Immission) kann unter bestimmten Umständen (Mehrwegeausbreitung) im Fernfeld einer Sendeanlage die tatsächlich vorliegende Expositionssituation unterschätzen (Kuehn et al. 2009), weswegen die „Schwenkmethode“ zur Ermittlung des örtlichen Maximalwertes bevorzugt werden sollte.

Die SSK weist auf die bei den dosimetrischen Untersuchungen bei Kindern und Personen mit Körpergrößen kleiner als 1,5 m festgestellte Inkonsistenz des bisher zu Grunde gelegten Zusammenhangs von Basisgrenzwerten und Referenzwerten bei Frequenzen um etwa 100 MHz und im Bereich 1-4 GHz hin, so dass nicht mehr angenommen werden kann, dass bei Einhaltung des Referenzwertes auch der Basisgrenzwert eingehalten wird.

Neuere Untersuchungen (Li et al. 2010) deuten darauf hin, dass die Hand des Telefonierenden zu einer Erhöhung der SAR im Kopf eines Mobiltelefonnutzers im Vergleich zur Situation ohne Hand führen kann. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig, da bei der standardisierten SAR-Messung von Mobiltelefonen am Kopf nach DIN EN 62209-1 derzeit keine Berücksichtigung der Hand erfolgt.

2.8 Sind Kinder einem erhöhten gesundheitlichen Risiko ausgesetzt?

Kinder unterscheiden sich gegenüber Erwachsenen im Hinblick auf die potenziell längere Nutzung von Mobiltelefonen bzw. mobiler Kommunikation, gemessen über die Lebenszeit. Außerdem wird eine möglicherweise höhere Vulnerabilität u. a. aufgrund ihres sich noch entwickelnden Nervensystems, einer größeren Leitfähigkeit ihres Hirngewebes sowie höherer spezifischer Absorptionsraten diskutiert. Ein grundsätzliches Problem bei der Beurteilung der möglichen gesundheitlichen Risiken bei Kindern ist der Umstand, dass der Begriff „Kind“ in unterschiedlicher Weise verwendet wird. Er umfasst nämlich je nach Studie Altersgruppen bis 18 Jahre, obwohl morphologische und physiologische Unterschiede in den verschiedenen Altersgruppen von den ersten Lebensjahren bis zum Abschluss der Pubertätsentwicklung eine undifferenzierte Betrachtung nicht rechtfertigen.

Zum Thema Mobilfunk und Kinder hat die SSK bereits im Jahr 2006 eine Stellungnahme veröffentlicht (SSK 2006). Zusammenfassend wurde dabei festgestellt:

- 1. Die bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen belegen zwar eine tendenziell höhere Absorption in Kinderköpfen, die Unterschiede zu Erwachsenen nehmen jedoch bereits nach den ersten Lebensjahren stark ab und sind bei 5-jährigen bereits kleiner als die interpersonellen Variationen. Für jüngere Kinder liegen bisher keine Studien vor.*
- 2. Die wenigen bisherigen Untersuchungen an Kindern ab 5 Jahren ergeben keine belastbaren Hinweise auf eine erhöhte Empfindlichkeit des Organismus von Kindern und Jugendlichen.*
- 3. Die gegenwärtige epidemiologische Literatur enthält keine belastbaren Daten, mit denen sich Gesundheitsschädigungen durch langzeitige Einwirkungen von Mobilfunkfeldern belegen ließen. Studien speziell zu Kindern existieren nicht.*
- 4. In Bezug auf mögliche Einflüsse auf die körperliche oder geistige Entwicklung von Kindern und Jugendlichen durch Mobilfunkfelder liegen bisher keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor. Eine Beeinflussung kognitiver Funktionen ist weder bei Erwachsenen noch bei Kindern belegt.*

Im DMF wurden mehrere Vorhaben zu dieser Fragestellung durchgeführt. In einer Fall-Kontrollstudie⁴⁶ wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Leukämie bei Kindern und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Rundfunk- und Fernsehsendern untersucht. Diese Studie sowie die gepoolte Analyse der deutschen Daten mit denen einer nahezu zeitgleich durchgeführten südkoreanischen Studie ergaben keinen Hinweis darauf, dass von den Sendern verursachten Immissionen ein zusätzliches Risiko für das Auftreten von Leukämien bei Kindern ausgeht. In der südkoreanischen Studie an Kindern im Alter unter 15 Jahren wurden neben Leukämien auch Hirntumoren als Endpunkte betrachtet. Es zeigte sich weder bei Leukämien noch bei Hirntumoren ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Krebserkrankungen und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Rundfunk- und Fernsehsendern (Ha et al. 2007). In einer britischen Fall-Kontrollstudie, die alle Krebserkrankungen bei Kindern im Alter von 0–4 Jahren aus dem britischen Krebsregister der Jahre 1999–2001 umfasste, konnte kein Zusammenhang zwischen dem Risiko, im frühen Kindesalter an Krebs zu erkranken, und Schätzwerten für die Exposition der Mutter durch Basisstationen während der Schwangerschaft festgestellt werden (Elliott et al. 2010) (s. auch Abschnitt 2.1). Aus allen bisher an Kindern und Jugendlichen durchgeführten Studien kann kein Zusammenhang zwischen Mobilfunkfeldern und Krebsrisiko abgeleitet werden.

In einigen früheren, allerdings methodisch wenig belastbaren (selbstberichtete Expositionsdaten) epidemiologischen Studien an Jugendlichen (Punamäki et al 2007, Söderquist et al 2008, Koivusilta et al. 2005) wurde über Zusammenhänge zwischen gesundheitlicher Beeinträchtigung bzw. unspezifischen Symptomen und der Nutzung von Mobiltelefonen bzw. mobiler Kommunikation berichtet. In einem im Rahmen des DMF geförderten Projekt⁴⁷ wurden daher potenzielle akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk (Mobiltelefone, Basisstationen, WLAN) an Kindern und Jugendlichen untersucht. Es handelt sich hier um eine epidemiologische Querschnittstudie bei Kindern und Jugendlichen, wobei erstmals Personendosimeter verwendet wurden, die es erlauben sollten, individuelle tageszeitliche Expositionen über 24 Stunden zu erfassen. Auf Grund der speziellen Bauweise der verwendeten Dosimeter waren Messungen während der nächtlichen Ruhezeit jedoch nicht möglich, so dass die erhaltenen Messwerte nur eingeschränkte Repräsentativität besitzen. Generell zeigte sich eine insgesamt niedrige Mobilfunkexposition. Es ergaben sich keine konsistenten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition (aktuelle Vormittags- bzw. Nachmittagsexposition oder Gesamtexposition als mittlerer prozentualer Anteil vom Grenzwert während der Wachphase) gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und selbstberichteten Gesundheits- und Verhaltensparametern (aktuell mittags/abends, chronisch). Durch die nun vorliegende methodisch verbesserte Untersuchung wurden die Hinweise auf einen Zusammenhang von Gesundheitseffekten bei Kindern und Jugendlichen und Mobilfunkexpositionen deutlich abgeschwächt.

Thomas et al. (2010) haben in einer ergänzenden Auswertung der im Rahmen dieser DMF-Studie erhobenen Fragebogendaten zu individuellen Stärken und Schwächen gezeigt, dass bei Jugendlichen (nicht aber bei Kindern) in der Gruppe mit der höchsten EMF-Exposition (oberstes Quartil) ein Zusammenhang zwischen dem Summenwert (Gesamtscore bei quantitativer Auswertung des Gesamtfragebogens) und der Exposition zu beobachten ist. Dieser Zusammenhang wird vor allem durch die Antworten der Jugendlichen zu dem Fragenkomplex bezüglich Verhaltensprobleme geprägt. Nur für diesen speziellen Fragenkomplex ist der Zusammenhang zur EMF-Exposition auch bei Kindern signifikant, bei

⁴⁶ Forschungsprojekt E5: Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen

⁴⁷ Forschungsprojekt E9: Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern

denen sich die Signifikanz im Gesamtscore allerdings nicht mehr zeigt. Es bleibt jedoch offen, ob die höhere Exposition ursächlich für die berichteten Verhaltensprobleme ist oder ob diese eine erhöhte Mobilfunknutzung verursachen. Da es sich hier um eine erste Studie zum möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und mentaler Gesundheit handelt und hier wenig belastbare Daten für die weitere Auswertung mit auffälligen Befunden zusammengefasst werden, sind weitere Studien mit konfirmatorischem Design und entsprechender Fallzahlplanung sowie individueller Dosimetrie nötig, um diesen Aspekt weiter zu untersuchen.

In einer einfach-blinden Studie zu akustisch evozierten Potenzialen an Kindern (Kwon et al. 2010a) wurde kein Effekt elektromagnetischer Felder von Mobiltelefonen gefunden.

Zur Frage eines potenziell erhöhten gesundheitlichen Risikos für Kinder wird derzeit eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse einer internationalen Fall-Kontrollstudie an 352 Fällen und 642 Kontrollen (CEFALO) zum potenziellen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Hirntumoren bei Kindern und Jugendlichen im Alter zwischen 7 und 19 Jahren und der Nutzung von Mobiltelefonen ergaben keine Hinweise auf einen entsprechenden Zusammenhang (Aydin et al. 2011). Regelmäßige Mobiltelefonnutzer wiesen im Vergleich zu denen, die Mobiltelefone nicht regelmäßig benutzten, kein erhöhtes Risiko für Hirntumoren auf (OR = 1.36; 95% CI: 0.92-2.02). Darüber hinaus gab es keinen Hinweis darauf, dass das Risiko für das Auftreten von Hirntumoren für Regionen mit der höchsten Exposition erhöht war. Für eine weitere internationale Fall-Kontrollstudie über einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Hirntumoren bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Alter von 10 bis 24 Jahren (MOBI-KIDS 2011) und Kommunikationstechnologien einschließlich Mobilfunk hat die Datenerhebung in 2010 begonnen. In insgesamt 13 Ländern, darunter auch Deutschland, sollen 2 000 Patienten mit einem Hirntumor und eine gleichgroße Kontrollgruppe untersucht werden.

In einer Mehrgenerationen-Studie an Mäusen wurden auch bei juvenilen Tieren keine Effekte durch die Exposition (0, 0,08, 0,4 und 1,3 W/kg Ganzkörper-SAR, 24 h/Tag, UMTS) im Hinblick auf Fertilität, Entwicklung und einiger Verhaltensparameter gefunden (Sommer et al. 2010).

Aus dosimetrischer Sicht ist die Frage von Bedeutung, ob Kinder durch hochfrequente Felder der Mobilkommunikation stärker exponiert werden als Erwachsene. Hierzu sind sowohl Basisstationen, als auch Mobiltelefone in die Betrachtungen einzubeziehen.

Bezüglich Basisstationen haben einige numerische Studien außerhalb des DMF gezeigt, dass eine Ganzkörperexposition in Höhe der Referenzwerte von Kindern und kleinen Personen mit Körpergrößen kleiner als 1,5 m unter „worst-case“-Bedingungen zu einer Überschreitung der Basisgrenzwerte (über den Körper gemittelte SAR-Werte) bei Frequenzen um etwa 100 MHz und im Bereich 1–4 GHz führen kann (Dimbylow und Bolch 2007, Conil et al. 2008, Kuehn et al. 2009, Christ et al. 2011). Eine Studie mit anatomisch korrekten numerischen Modellen von Kindern und unter Berücksichtigung von altersabhängigen Gewebeparametern (Christ et al. 2011) findet eine Überschreitung der Basisgrenzwerte um 30 % bei 100 MHz und um mehr als 50 % zwischen 1,5 und 4 GHz. Diese Ergebnisse belegen eine Inkonsistenz des bisher zu Grunde gelegten Zusammenhangs von Basisgrenzwerten und Referenzwerten in diesen Frequenzbereichen.

Bezüglich der Exposition durch Mobiltelefone wurden in den letzten Jahren zahlreiche und zum Teil kontroverse numerische SAR-Studien publiziert. Darin wurden mögliche Unterschiede bei der Energieabsorption in Abhängigkeit von Kopfgröße und Anatomie, der Dicke der Ohrmuschel sowie der dielektrischen Eigenschaften des Kopfgewebes untersucht. Während einige Studien bei Variation der Kopfgröße eine signifikante Erhöhung der

maximalen, über 10 g Gewebe gemittelten SAR bei Kinderköpfen berichten, konnten andere Studien diese Ergebnisse nicht reproduzieren. Frühere Studien verwendeten linear herunterskalierte Kopfmodelle von Erwachsenen als Basis für die Kopfmodelle von Kindern. Gegenwärtig werden hingegen verfeinerte Kinderkopfmodelle auf Basis von MRT-Bildern verwendet. Die Studie B17⁴⁸ des DMF bezog auch den möglichen Einfluss unterschiedlicher Dicken der Ohrmuschel sowie der Gewebeparameter des Kopfes in die Untersuchungen der Absorption der Mobilfunkfelder ein. Charakteristische Unterschiede der Dicke der Ohrmuschel zwischen Erwachsenen und 6–8 Jahre alten Kindern, die einen möglichen Einfluss auf die SAR hätten, wurden nicht beobachtet. Daten für jüngere Kinder sind nicht verfügbar. Mit der Ausnahme des Knochenmarks konnte kein systematischer Einfluss der Altersabhängigkeit der Gewebeparameter auf die lokale Exposition ermittelt werden. Bezüglich der maximalen 10 g-SAR wurden keine charakteristischen Unterschiede zwischen den untersuchten Kindermodellen (3, 6 und 11 Jahre alt) und dem Modell eines Erwachsenen unter Berücksichtigung der inter-individuellen Unterschiede zwischen verschiedenen Erwachsenenmodellen (Faktor 2) gefunden. Bezüglich der örtlichen SAR-Verteilung (d. h. ohne 10 g Mittelung) existieren zwischen Kindern und Erwachsenen Unterschiede. Dies betrifft eine höhere Exposition in einigen Geweben und Organen (z. B. im Auge) bei Kindern aufgrund eines kürzeren Abstands zum Mobiltelefon. Andere Regionen des Kinderkopfes hingegen werden weniger stark exponiert als bei Erwachsenen. Diese Ergebnisse sollten bei einer Interpretation von epidemiologischen und experimentellen Studien an Kindern berücksichtigt werden.

Die bislang durchgeführten Laborstudien an Menschen und Tieren sowie die epidemiologischen Studien stützen nicht die Annahme einer postulierten erhöhten Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen. Die SSK weist auf die bei den dosimetrischen Untersuchungen bei Kindern festgestellte Inkonsistenz des bisher zu Grunde gelegten Zusammenhangs von Basisgrenzwerten und Referenzwerten bei Frequenzen um etwa 100 MHz und im Bereich 1–4 GHz hin, so dass nicht mehr angenommen werden kann, dass bei Einhaltung des Referenzwertes auch der Basisgrenzwert eingehalten wird. Die dosimetrischen Untersuchungen der Expositionen von Kinderköpfen durch Mobiltelefone haben im Vergleich zu Erwachsenen quantitative Unterschiede in der SAR-Verteilung gezeigt. Eine Untersuchung der gesundheitlichen Relevanz dieser Ergebnisse steht noch aus.

Die WHO sieht sowohl bei epidemiologischen (prospektive Kohortenstudie) als auch bei Human- (Provokationsstudien) und tierexperimentellen Studien einen Forschungsbedarf mit hoher Priorität bei Kindern und Jugendlichen bzw. in frühen und juvenilen Entwicklungsphasen (WHO 2010, van Deventer et al. 2011). Dies hat bereits zur Initiierung von mehreren multinationalen und nationalen Studien geführt. Die Strahlenschutzkommission sieht daher auf diesem Gebiet aktuell keinen weiteren Forschungsbedarf, zumal die bislang vorliegenden Ergebnisse der Untersuchungen die ursprünglich geäußerten Befürchtungen (Kheifets et al. 2005) einer erhöhten Empfindlichkeit von Kindern nicht unterstützt haben.

2.9 Wie wird das EMF-Risiko wahrgenommen und wie kann die Risikokommunikation verbessert werden?

Die Studien zur Risikowahrnehmung zeigen, dass die Häufigkeit mobilfunkbezogener Ängste und Befürchtungen unabhängig vom Umfang der Netzausbauaktivitäten ist. Offenbar ist sie auch nur lose gekoppelt an den Umfang und Inhalt der medialen Berichterstattung zum Mobilfunk. In der Bevölkerung ist die Besorgnis in Bezug auf Mobilfunk-Sendeanlagen

⁴⁸ Forschungsprojekt B17: Untersuchung zu altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter

deutlich höher als in Bezug auf das Handy. Im Vergleich zu anderen Risikofaktoren (z. B. Luftverschmutzung, UV-Strahlung) erweist sich der Mobilfunk als keine Besorgnis ersten Ranges. All dies hat sich in den Befragungen von 2003 bis 2006 nicht wesentlich verändert. Die Ergebnisse einer Eurobarometerumfrage aus dem Jahr 2006 zeigen zudem, dass die Mobilfunkbesorgnis in Deutschland deutlich geringer ist als im EU-Durchschnitt (Eurobarometer 2007). Das bestätigt sich auch in der aktuellen Eurobarometerumfrage 2010, in der die Mobilfunkbesorgnis in Deutschland wiederum deutlich unter dem EU-Durchschnitt liegt (Eurobarometer 2010). Darüber hinaus hat in dieser Umfrage die Besorgnis in Deutschland gegenüber 2006 um 6 Prozentpunkte abgenommen (im EU-Durchschnitt um 2 Prozentpunkte). Obwohl diese Ergebnisse darauf hindeuten, dass die Risikowahrnehmung des Mobilfunks in Deutschland über die Zeit relativ stabil ist, weiß man wenig darüber, ob und wie sich die mobilfunkbezogene Risikowahrnehmung individuell über die Zeit verändert. Dies hat auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in ihrer aktuellen Forschungsagenda für Mobilfunkfelder festgestellt (WHO 2010, van Deventer et al. 2011). Sie befürwortet deshalb Studien, die die zeitliche Entwicklung der Risikowahrnehmung und der dabei wirksamen Einflussfaktoren untersuchen.

Verglichen mit dem Beitrag des DMF zum Wissen über die Risikowahrnehmung ist der Beitrag zum Wissen über effektive Formen der Risikokommunikation eher gering. Das gilt sowohl für die Information über Forschungsbefunde zu den gesundheitlichen Wirkungen von EMF, für die Information über Vorsorge und Unsicherheit als auch in Teilen für das Konfliktmanagement. Hierzu gibt es generell kaum gesichertes Wissen. Entsprechend wird in der Forschungsagenda der WHO nicht nur gefordert, neue Instrumente für die Kommunikation zu den gesundheitlichen Wirkungen von EMF zu entwickeln, sondern auch deren Wirksamkeit empirisch zu überprüfen (WHO 2010, van Deventer et al. 2011). Denn Instrumente der Risikokommunikation wie das EMF-Portal (EMF-Portal), das Internet-basierte Entscheidungsunterstützungssystem⁴⁹ oder das Mobilfunk-Forschungsprogramm selbst können wesentliche Elemente der Risikokommunikation sein. Aber auch wenn diese Elemente für die Risikokommunikation plausibel sind, ist ihre Wertigkeit ohne strikte Evaluation bei aller anzunehmenden Nützlichkeit bisher nicht belegt.

3 Schlussfolgerung und Ausblick

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm hat einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlage für die gesundheitliche Bewertung der Exposition durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks und damit zur Risikokommunikation geleistet.

Die Ergebnisse des DMF zeigen, dass die ursprünglichen Befürchtungen über gesundheitliche Risiken nicht bestätigt werden konnten. Es haben sich durch die Forschungsergebnisse des DMF auch keine neuen Hinweise auf bisher noch nicht bedachte gesundheitliche Auswirkungen ergeben. In Übereinstimmung mit anderen internationalen Gremien (ICNIRP 2009, WHO 2011) kann festgestellt werden, dass die den bestehenden Grenzwerten zugrundeliegenden Schutzkonzepte nicht in Frage gestellt sind.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist festzustellen, dass auf Basis der durchgeführten Forschungsprojekte die Gesamtproblematik der biologisch-medizinischen Wirkungen der Felder des Mobilfunks nicht endgültig geklärt werden konnte. In diesem Sinn ist es verständlich, wenn trotz der Tatsache, dass die ursprünglichen Hinweise auf potenzielle

⁴⁹ Forschungsprojekt R6: Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen

gesundheitliche Wirkungen des Mobilfunks nicht bestätigt wurden, noch Forschungsbedarf bestehen bleibt. Die weiterhin dynamische Entwicklung neuer Funktechnologien und die Nutzung neuer Frequenzen und Übertragungsformen lassen darüber hinaus ebenfalls eine begleitende Forschung, Immissionskontrolle und Expositionsbeurteilung als sinnvoll erscheinen.

Hinsichtlich der ursprünglichen Forschungsempfehlungen der Strahlenschutzkommission lassen sich die Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms unter Berücksichtigung des internationalen Wissensstandes wie folgt zusammenfassen:

- *Krebs*: Die im Rahmen des DMF durchgeführten Untersuchungen haben in keiner Weise Anhaltspunkte für eine krebsinitiiierende oder -promovierende Wirkung erbracht. Damit befinden sie sich in Übereinstimmung mit den meisten publizierten Studien, die sie zum Teil wesentlich ergänzten. Insgesamt ergibt sich eine unzureichende Evidenz für eine potenzielle Kanzerogenität von Mobilfunkexpositionen (SSK 2011). Mit dieser Einschätzung kommt die SSK zu einer anderen Bewertung als die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC), die in ihrer Sitzung im Mai 2011 hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (Klasse 2B) eingestuft hat (Baan et al. 2011). Ein unmittelbarer Forschungsbedarf besteht in der Epidemiologie zurzeit nicht, da erst die Ergebnisse angelaufener Studien abgewartet werden sollten (COSMOS, MOBI-KIDS). Es wäre notwendig, die Frage möglicher genotoxischer Wirkungen durch eine umfassend angelegte Studie grundlegend zu klären. Dabei sollten möglichst viele verfügbare Tests (Albertini et al. 2000, Brendler-Schwaab et al. 2004) eingesetzt werden. Hierbei ist es wichtig, hohe Standards der Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle zu gewährleisten. Die bisher durchgeführten multizentrischen Studien erfüllen diese Bedingungen nicht vollständig, da sie sich nur auf wenige experimentelle Endpunkte beschränkten (PERFORM-B (Stronati et al. 2006), REFLEX (EU 2004), was auch für die im DMF geförderten Vorhaben^{50,51} gilt. Grundsätzlich regt die SSK an, EMF- Forschung künftig stärker auf ein Hypothesen-basiertes Design von Studien zu stützen. Die Wirkungshypothesen sollten dabei auch im Verbund mit Grundlagenuntersuchungen abgeklärt werden, wobei etablierte Erkenntnisse der Strahlenbiologie berücksichtigt werden sollten.
- *Blut-Hirn-Schranke (BHS)*: Die Projekte im Rahmen des DMF haben auch mit neuen methodischen Ansätzen keine Effekte auf die BHS gefunden. Insgesamt gibt es keine ausreichende Evidenz für eine Beeinflussung der BHS durch Mobilfunkexpositionen im Bereich der Grenzwerte. Es ergibt sich daher zu dieser Frage kein weiterer Forschungsbedarf.
- *Neurophysiologische und kognitive Prozesse, Schlaf*: Mit Hilfe verschiedener methodischer Ansätze konnte eine Beeinflussung von Hör- oder Sehvermögen, insbesondere die Auslösung von Tinnitus, durch Mobilfunkfelder weitgehend ausgeschlossen werden. Epidemiologische und Feld-Studien zeigen übereinstimmend keine Beeinflussung des Schlafverhaltens. Untersuchungen an Probanden im Labor zur Beeinflussung der Gehirnaktivität zeigen inkonsistente Ergebnisse. Eine abschließende Wertung im Hinblick auf Effekte auf das Schlaf-EEG sowie das Ruhe-EEG im Wachzustand ist derzeit noch nicht möglich. Es besteht Bedarf an einer Multicenter-

⁵⁰ Forschungsprojekt B16: Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut

⁵¹ Forschungsprojekt B21: Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differentielle Genexpression

Studie, in der Arbeitsgruppen aus unterschiedlichen Laboren mit dem selbem experimentellen Ansatz einer Fragestellung nachgehen. Dabei sollten nicht nur junge Erwachsene sowie Kinder und Jugendliche untersucht werden, sondern insbesondere auch ältere Personen, die möglicherweise auf Grund altersbedingter morphologischer und funktioneller Änderungen des Gehirns eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks aufweisen könnten. Damit würde auch angeknüpft an Untersuchungen zum möglichen Einfluss elektromagnetischer Felder auf pathologische Altersveränderungen des Gehirns (neurodegenerative Erkrankungen), für die von der WHO (2010, Deventer et al. 2011) eine Priorität gesehen wird.

- *Elektrosensibilität und Befindlichkeitsstörungen:* In der Zusammenschau mit der internationalen Literatur kann der Schluss gezogen werden, dass „Elektrosensibilität“ im Sinne eines ursächlichen Zusammenhangs mit der Exposition durch EMF mit großer Wahrscheinlichkeit nicht existiert. Weitere Forschung sollte daher in einem Themenkreis außerhalb der EMF-Forschung erfolgen.
- *Blut und Immunsystem:* Die Ergebnisse des DMF erlauben in Übereinstimmung mit den Arbeiten anderer Autoren den Schluss, dass Mobilfunkfelder keinen Einfluss auf das Immunsystem haben. Effekte von Mobilfunkfeldern auf verschiedene Blutparameter (z. B. Reticulozyten, „Geldrolleneffekt“), z. B. vor und nach der Errichtung einer Mobilfunk-Basisstation, sind spekulativ und basieren nicht auf einem validierten diagnostischen Ansatz.
- *Reproduktion und Entwicklung:* Die Untersuchungen im Rahmen des DMF lassen es als sehr unwahrscheinlich erscheinen, dass durch Mobilfunkexpositionen bis zu den Grenzwerten negative Auswirkungen auf Reproduktion und Entwicklung zu erwarten sind. Die SSK sieht in diesem Bereich keinen aktuellen Forschungsbedarf.
- *Exposition durch Funk-Technologien:* Die Immission durch ortsfeste Sendeanlagen in allgemein zugänglichen Bereichen liegt bezüglich der Grenzwertausschöpfung durch die Leistungsflussdichte in der Regel im Promillebereich oder darunter und erreicht maximal einstellige Prozentwerte. Durch körpernah oder im Körperkontakt betriebene Endgeräte sind wesentlich höhere Expositionen festzustellen, die die zulässigen Basisgrenzwerte bis zu mehreren zehn Prozent ausschöpfen können. Forschungsbedarf besteht in der Weiterentwicklung von verlässlichen Methoden zur Erfassung der Exposition für epidemiologische Studien; im Umfeld von ortsfesten Sendeanlagen ist der Abstand als Expositionsschätzer ungeeignet. Die Veränderung der Immissionen und Nutzungsszenarien bei Einführung neuer Funktechnologien ist messtechnisch zu überwachen. Die SSK weist auf die bei Kindern und Personen mit Körpergrößen kleiner als 1,5 m festgestellte Inkonsistenz des bisher zu Grunde gelegten Zusammenhangs von Basisgrenzwerten und Referenzwerten bei Frequenzen um etwa 100 MHz und im Bereich 1–4 GHz hin, so dass nicht mehr angenommen werden kann, dass bei Einhaltung des Referenzwertes auch der Basisgrenzwert eingehalten wird.
- *Mobilfunk und Kinder:* Als Ergebnis epidemiologischer Studien haben sich Hinweise auf einen Zusammenhang von Gesundheitseffekten bei Kindern und Jugendlichen und Mobilfunkexposition deutlich abgeschwächt. Mehrgenerations-Tierstudien konnten keine Effekte durch Mobilfunkexposition aufzeigen. Die bislang durchgeführten Studien stützen nicht die Annahme einer postulierten erhöhten Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen. Die SSK weist auf die bei dosimetrischen Untersuchungen bei Kindern festgestellte Inkonsistenz des bisher zu Grunde gelegten Zusammenhangs von Basisgrenzwerten und Referenzwerten bei Frequenzen um etwa 100 MHz und im Bereich

1-4 GHz hin, so dass nicht mehr angenommen werden kann, dass bei Einhaltung des Referenzwertes auch der Basisgrenzwert eingehalten wird. Berechnungen der Exposition von Kinderköpfen durch Mobiltelefone haben im Vergleich zu Erwachsenen quantitative Unterschiede in der SAR-Verteilung gezeigt. Eine Untersuchung der gesundheitlichen Relevanz dieser Ergebnisse steht noch aus. Über die u. a. auf Basis der WHO-Empfehlungen (WHO 2010) initiierten Studien bezüglich Kindern und Jugendlichen hinaus sieht die SSK aktuell keinen weiteren Forschungsbedarf auf diesem Gebiet.

- *Risikowahrnehmung und Risikokommunikation:* Die Häufigkeit mobilfunkbezogener Ängste und Befürchtungen sind unabhängig vom Umfang der Netzausbauaktivitäten und nur lose gekoppelt an Umfang und Inhalt der medialen Berichterstattung. In der Bevölkerung ist die Besorgnis in Bezug auf Mobilfunk-Sendeanlagen deutlich höher als in Bezug auf Handys; allerdings ist Mobilfunk keine Besorgnis ersten Ranges. Das Wissen über effektive Formen der Risikokommunikation ist derzeit eher gering. Hierfür müssen zukünftig neue Instrumente entwickelt und deren Wirksamkeit empirisch überprüft werden.

4 Literatur

- Ahlbom et al. 2009 Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz D A, Swerdlow A J, ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection): Standing Committee on Epidemiology: Epidemiologic Evidence on Mobile Phones and Tumor Risk: A Review. *Epidemiology*: 2009, 20 (5):639-652
- Albertini et al. 2000 Albertini R J, Anderson D, Douglas G R, Hagmar L, Hemminki K, Merlo F, Natarajan A T, Norppa H, Shuker D E, Tice R, Waters M D, Aitio A: IPCS guidelines for the monitoring of genotoxic effects of carcinogens in humans. *International Programme on Chemical Safety. Mutat Res* 2000, 463(2):111-172
- Arendash et al. 2010 Arendash G W, Sanchez-Ramos J, Mori T, Mamcarz M, Lin X, Runfeldt M, Wang L, Zhang G, Sava V, Tan J, Cao C: Electromagnetic field treatment protects against and reverses cognitive impairment in Alzheimer's disease mice. *J Alzheimers Dis* 2010, 19(1):191-210
- Aydin et al. 2011 Aydin D, Feychting M, Schüz J, Tynes T, Andersen T V, Schmidt L S, Poulsen A H, Johansen C, Prochazka M, Lannering B, Klæboe L, Eggen T, Jenni D, Grotzer M, Von der Weid N, Kuehni C E, Rööslü M: Mobile Phone Use and Brain Tumors in Children and Adolescents: A Multicenter Case-Control Study. *J Natl Cancer Inst.* 2011 Jul 27 [Epub ahead of print]
- Baan et al. 2011 Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Ghua N, Islami F, Galichet L, Straif K: Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology* 2011, 12(7):624-626
- Barth et al. 2011 Barth A, Ponocny I, Gnambs T, Winker R: No effects of short-term exposure to mobile phone electromagnetic fields on human cognitive performance: a meta-analysis. *Bioelectromagnetics* 2011, doi:10.1002/bem.20697 [Epub ahead of print]
- Brendler-Schwaab et al. 2004 Brendler-Schwaab S, Czich A, Epe B, Gocke E, Kaina B, Müller L, Pollet D, Utesch D: Photochemical genotoxicity: principles and test methods. Report of a GUM task force. *Mutat Res* 2004, 566 (1):65-91
- Brunekreef 2008 Brunekreef B: Environmental epidemiology and risk assessment. *Toxicology Letters* 2008, 180 (2):118-122
- Cardis et al. 2008 Cardis E, Deltour I, Mann S, Moissonnier M, Taki M, Varsier N, Wake K, Wiart J: Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the brain. *Phys Med Biol* 2008, 53 (11):2771-2783

- Cardis et al. 2011 Cardis E, Armstrong B K, Bowman J D, Giles G G, Hours M, Krewski D, McBride M, Parent M E, Sadetzki S, Woodward A, Brown J, Chetrit A, Figuerola J, Hoffmann C, Jarus-Hakak A, Montestruq L, Nadon L, Richardson L, Villegas R, Vrijheid M: Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries. *Occup Environ Med* 2011, 68 (9):631-640
- CEFALO CEFALO: An international case-control study on brain tumours in children and adolescents.
<http://www.kinderkrebsregister.ch/index.php?id=2010>, zuletzt besucht am 20.4.2011
- Chang et al. 2005 Chang S K, Choi J S, Gil H W, Yang J O, Lee E Y, Jeon Y S, Lee Z W, Lee M, Hong M Y, Ho Son T, Hong SY: Genotoxicity evaluation of electromagnetic fields generated by 835-MHz mobile phone frequency band. *Eur J Cancer Prev.* 2005, 175-179.
- Christ et al. 2011 Christ A, Schmid G, Zefferer M, Uberbacher R, Lichtsteiner M, Neufeld E, Cecil S, Kuster N: Numerische Bestimmung der Spezifischen Absorptionsrate bei Ganzkörperexposition von Kindern. Studie im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz. Verfügbar unter http://www.emf-forschungsprogramm.de/akt_emf_forschung.html/dosi_HF_003.html, zuletzt besucht am 19.01.2011.
- Conil et al. 2008 Conil E, Hadjem A, Lacroux F, Wong M F, Wiart J: Variability analysis of SAR from 20 MHz to 2.4 GHz for different adult and child models using finite-difference time-domain. *Phys Med Biol* 2008, 53 (6):1511-1525
- Croft et al. 2010 Croft R J, Leung S, McKenzie R J, Loughran S P, Iskra S, Hamblin D L, Cooper N R: Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* 2010, 31(6):434-444
- Dasdag et al. 2008 Dasdag S, Akdag M Z, Ulukaya E, Uzunlar A K, Yegin D: Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. *Arch Med Res* 2008, 39 (1):40-44
- Dimbylow und Bolch 2007 Dimbylow P, Bolch W: Whole-body-averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms. *Phys Med Biol* 2007, 52 (22):6639-6649
- DIN EN 62209-1 Sicherheit von Personen in hochfrequenten Feldern von handgehaltenen und am Körper getragenen schnurlosen Kommunikationsgeräten – Körpermodelle, Messgeräte und Verfahren. Teil 1: Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) von handgehaltenen Geräten, die in enger Nachbarschaft zum Ohr benutzt werden (Frequenzbereich von 300 MHz bis 3 GHz). Ausgabe 2007-03.
- Eberhardt et al. 2008 Eberhardt J L, Persson B R, Brun A E, Salford L G, Malmgren L O: Blood-brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Electromagn Biol Med* 2008, 27 (3):215-229

- EFHRAN 2010 Sienkiewicz Z, Schüz J, Poulsen A H, Cardis E: Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields. Deliverable Report D2 of EHFRAN project, draft 2010
- Eger et al. 2004 Eger H, Hagen K U, Lucas B, Vogel P, Voit H: Einfluss der räumlichen Nähe von Mobilfunksendeanlagen auf die Krebsinzidenz. *Umwelt - Medizin - Gesellschaft* 2004, 17 (4): 326-332
- Elliott et al. 2010 Elliott P, Toledano M B, Bennett J, Beale L, de Hoogh K, Best N, Briggs D J: Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. *BMJ* 2010 340: c3077
doi:10.1136/bmj.c3077
- EMF-Portal www.emf-portal.de, zuletzt besucht am 16.6.2011
- EU 2004 EU: Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods, Final Report 2004
- Eurobarometer 2007 Eurobarometer: Electromagnetic Fields (Special Eurobarometer Nr 272a), zuletzt besucht am 17.2.2008
http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_272a_en.pdf
- Eurobarometer 2010 Eurobarometer: Elektromagnetische Felder (EUROBAROMETER Spezial 347), zuletzt besucht am 4.4.2011
http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_347_de.pdf
- Gaestel 2010 Gaestel M: Biological monitoring of non-thermal effects of mobile phone radiation: recent approaches and challenges. *Biol Rev Camb Philos Soc* 2010, 85(3):489-500
- Ha et al. 2007 Ha M, Im H, Kim H J, Kim B C, Gimm Y M, Pack J K: Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer. *Am J Epidemiol* 2007 166 (3):270-279
- Ha et al. 2008 Ha M, Im H, Kim B C, Gimm Y M, Pack J K: Reply to a letter by Schüz J, Philipp J, Merzenich H, Schmiedel S and Brüggemeyer H: Re „ Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer“(Letter). *Am J Epidemiol*. 2008 167 (7):883-884. – *Am J Epidemiol* 2008 167 (7):884-885
- Hamnerius et al. 1985 Hamnerius Y, Rasmuson A, Rasmuson B: Biological effects of high-frequency electromagnetic fields on *Salmonella typhimurium* and *Drosophila melanogaster*. *Bioelectromagnetics* 1985, 405-414
- Hardell et al. 2011 Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K: Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oncol* 2011, 38 (5):1465-1474
- Hruby et al. 2008 Hruby R, Neubauer G, Kuster N, Frauscher M: Study on potential effects of « 902-MHz GSM-type wireless communication signals » on DMBA-induced mammary tumours in Sprague-Dawley rats. *Mutat Res* 2008, 649 (1-2):34-44

- ICNIRP 2009 Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz) – Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2009
- INTERPHONE 2010 The INTERPHONE Study Group: Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *International Journal of Epidemiology* 2010; 1-20 doi:10.1093/ije/dyq079
- INTERPHONE 2011 The INTERPHONE Study Group: Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiology* (in press, 2011) doi:10.1016/j.canep.2011.05.012
- Kheifets et al. 2005 Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E: The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics* 2005, 116(2):e303-313
- Koivusilta et al. 2005 Koivusilta L, Lintonen T, Rimpelä A: Intensity of mobile phone use and health compromising behaviours – how is information and communication technology connected to health-related lifestyle in adolescence? *Journal of Adolescence* 2005, 28 (1):35-47
- Kuehn et al. 2009 Kuehn S, Jennings W, Christ A, Kuster, N: Assessment of induced radio-frequency electromagnetic fields in various anatomical human body models. *Phys Med Biol* 2009, 54 (4):875-890
- Kwon et al. 2009 Kwon M S, Kujala T, Huutilainen M, Shestakova A, Näätänen R, Hämäläinen H: Preattentive auditory information processing under exposure to the 902 MHz GSM mobile phone electromagnetic field: a mismatch negativity (MMN) study. *Bioelectromagnetics* 2009, 30(3):241-248
- Kwon et al. 2010a Kwon, M S, Huutilainen M, Shestakova A, Kujala T, Näätänen R, Hämäläinen H: No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. *Bioelectromagnetics* 2010, 31(3):191-199
- Kwon et al. 2010b Kwon M S, Jääskeläinen S K, Toivo T, Hämäläinen H: No effects of mobile phone electromagnetic field on auditory brainstem response. *Bioelectromagnetics* 2010, 31(1):48-55
- Koyama et al. 2007 Koyama S, Takashima Y, Sakurai T, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J: Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on bacterial and HPRT gene mutations. *J Radiat Res (Tokyo)*, 2007:69-75

- Larjavaara et al. 2011 Larjavaara S, Schüz J, Swerdlow A, Feychting M, Johansen C, Lagorio S, Tynes T, Klæboe L, Reidar Tonjer S, Blettner M, Berg-Beckhoff G, Schlehofer B, Schoemaker M, Britton J, Mäntylä R, Lönn S, Ahlbom A, Flodmark O, Lilja A, Martini S, Rastelli E, Vidiri A, Kähärä V, Raitanen J, Heinävaara S, Auvinen A: Location of gliomas in relation to mobile telephone use : A case-case and case-specular analysis. *Am J Epidemiol* 2011, 174 (1):2-11
- Li et al. 2010 Li C-H, Douglas M, Ofli E, Derat B, Chavannes N, Kuster N: Analysis of the hand effect on head SAR with generic and CAD phone models using FDTD. 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)
- Lowden et al. 2011 Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson J P, Arnetz B: Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics* 2011, 32(1):4-14
- MOBI-KIDS MOBI-KIDS: Study on Communication Technology, Environment and brain Tumours in Young people, <http://www.mbkds.com/>, zuletzt besucht am 20.4.2011
- Oberto et al. 2007 Oberto G, Rolfo K, Yu P, Carbonatto M, Peano S, Kuster N, Ebert S, Tofani S: Carcinogenicity study of 217 Hz pulsed 900 MHz electromagnetic fields in Pim1 transgenic mice. *Radiat Res* 2007, 168 (3):316-326
- Perrin et al. 2010 Perrin A, Cretallaz C, Collin A, Amourette C, Yardin C: Effects of radiofrequency field on the blood-brain barrier: A systematic review from 2005 to 2009. *C.R. Physique* 2010, 11 (9-10):602-612
- Poullietier de Gannes et al. 2009 Poullietier de Gannes F, Taxile M, Duleu S, Hurtier A, Haro E, Geffard M, Ruffié G, Billaudel B, Lévêque P, Dufour P, Lagroye I, Veyret B: A confirmation study of Russian and Ukrainian data on effects of 2450 MHz microwave exposure on immunological processes and teratology in rats. *Radiat Res* 2009, 172 (5):617-624
- Prochnow et al. 2011 Prochnow N, Gebing T, Ladage K, Krause-Finkeldey D, El Ouardi A, Bitz A, Streckert J, Hansen V, Dermietzel R: Electromagnetic Field Effect or Simply Stress? Effects of UMTS Exposure on Hippocampal Longterm Plasticity in the Context of Procedure Related Hormone Release. *PLoS One* 2011 May 5; 6(5):e19437
- Punamäki et al. 2007 Punamäki R, Wallenius M, Nygard C, Saarni L, Rimpelä A: Use of information and communication technology (ICT) and perceived health in adolescence: The role of sleeping habits and waking-time tiredness. *Journal of Adolescence* 2007, 30 (4):569-585
- Regel et al. 2007 Regel S J, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt H P, Achermann P: Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res* 2007, 16(3):253-258

- Regel und Achermann 2011 Regel S J, Achermann P: Cognitive performance measures in bioelectromagnetic research-critical evaluation and recommendations. *Environ Health* 2011, 10(1):10
- Repacholi et al. 1997 Repacholi M H, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris A W: Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997, 147 (5):631-640
- RKI 2006 Empfehlung des Robert-Koch-Instituts. Parameter des roten Blutbildes bei Exposition durch Mobilfunkanlagen. *Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 2006, 49: 833-835
- Röösli 2007 Röösli, M: Errors in epidemiological exposure assessment: Implications for study results. in: 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility 2007, Munich, September 24-28, 2007
- Rubin et al. 2010 Rubin G J, Nieto-Hernandez R, Wessely S: Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics* 2010, 31(1):1-11
- Rüdiger 2009 Rüdiger H W: Genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields. *Pathophysiology* 2009, 16 (2-3):89-102
- Sato et al. 2011 Sato Y, Akiba S, Kubo O, Yamaguchi N: A case-control study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics* 2011, 32 (2):85-93
- Sauter et al. 2011 Sauter C, Dorn H, Bahr A, Hansen M L, Peter A, Bajbouj M, Danker-Hopfe H: Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. *Bioelectromagnetics* 2011, 32(3):179-190
- SCENIHR 2009 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Health Effects of Exposure to EMF. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_022.pdf, zuletzt besucht am 12.4.2011
- Schüz und Ahlbom 2008 Schüz J und Ahlbom A: Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukaemia: a review. *Radiat Prot Dosimetry* 2008, 132 (2): 202-211
- Schüz et al. 2011 Schüz J, Elliott P, Auvinen A, Kromhout H, Poulsen A H, Johansen C, Olsen J H, Hillert L, Feychting M, Fremling K, Toledano M, Heinävaara S, Slottje P, Vermeulen R, Ahlbom A: An international prospective cohort study of mobile phone users and health (Cosmos): design considerations and enrolment. *Cancer Epidemiol* 2011, 35(1):37-43
- Söderquist et al. 2008 Söderquist F, Carlberg M, Hardell L: Use of wireless telephones and self-reported health symptoms: a population-based study among Swedish adolescents aged 15-19 years. *Environmental Health* 2008, 7:18.

- Sommer et al. 2010 Sommer A M, Grote K, Reinhardt T, Streckert J, Hansen V, Lerchl A: Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study. *Radiat Res* 2009, 171 (1): 89-95
- SSK 2006 Strahlenschutzkommission: Mobilfunk und Kinder. Verabschiedet in der 213. Sitzung der SSK am 05./06.12.2006
- SSK 2007a Strahlenschutzkommission: Wirkung hochfrequenter Felder auf das Genom: Genotoxizität und Genregulation. Verabschiedet in der 213. Sitzung der SSK am 05./06.12.2006. Veröffentlicht im BAnz Nr. 135a vom 24.07.2007. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Heft 62, H. Hoffmann GmbH – Fachverlag, Berlin 2009
- SSK 2007b Strahlenschutzkommission: Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen. Verabschiedet in der 214. Sitzung der SSK am 23.02.2007. Veröffentlicht im BAnz Nr. 127 vom 12.07.2007
- SSK 2008 Strahlenschutzkommission: Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm. Verabschiedet in der 223. Sitzung der SSK am 13.05.2008. Veröffentlicht im BAnz Nr. 179 vom 19.11.2008
- SSK 2011 Strahlenschutzkommission: Vergleichende Bewertung der Evidenz von Krebsrisiken durch elektromagnetische Felder und Strahlungen. Verabschiedet in der 248. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 14./15. April 2011
- SSM 2009 Strål säkerhets myndigheten (SSM): Research 2009: 36 Recent Research on EMF and Health Risk. Sixth annual report from SSM:s Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, 2009 <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2009/SSM-Rapport-2009-36.pdf>, zuletzt besucht am 14.4.2011
- SSM 2010 Strål säkerhets myndigheten (SSM): Research 2010: 44 Recent Research on EMF and Health Risk. Seventh annual report from SSM:s Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, 2010 <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2010/SSM-Rapport-2010-44.pdf>, zuletzt besucht am 14.4.2011
- Stam 2010 Stam R: Electromagnetic fields and the blood-brain barrier. *Brain Res Rev* 2010, 65(1):80-97
- Stang et al. 2001 Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Jöckel K H: The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 2001, 12(1):7-12
- Stang et al. 2009 Stang A, Schmidt-Pokrzywniak A, Lash T L, Lommatzsch P K, Taubert G, Bornfeld N, Jöckel K H: Mobile phone use and risk of uveal melanoma: results of the risk factors for uveal melanoma case-control study. *J Natl Cancer Inst* 2009, 101 (2):120-123

- Stronati et al. 2006 Stronati L, Testa A, Moquet J, Edwards A, Cordelli E, Villani P, Marino C, Fresegna A M, Appolloni M, Lloyd D: 935 MHz cellular phone radiation. An in vitro study of genotoxicity in human lymphocytes. *Int J Radiat Biol* 2006, 82 (5):339-346
- Swerdlow et al. 2011 Swerdlow A J, Feychting M, Green A C, Kheifets L, Savitz D A: Mobile Phones, Brain Tumours and the Interphone Study: Where Are We Now? doi:10.1289/ehp.1103693, online 1 July 2011
- Szmigielski et al. 1982 Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A, Bielec M, Janiak M, Wrembel J K: Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1982, 3 (2):179-191
- Thomas et al. 2010 Thomas S, Heinrich S, von Kries R and Radon K: Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *Eur J Epidemiol* 2010, 25 (2):135-141
- Tillmann et al. 2010 Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, Dasenbrock C: Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *Int J Radiat Biol* 2010, 86 (7):529-541
- Tommaso et al. 2009 de Tommaso M, Rossi P, Falsaperla R, Francesco V de, Santoro R, Federici A: Mobile phones exposure induces changes of contingent negative variation in humans. *Neurosci Lett* 2009, 464(2):79-83
- Utteridge et al. 2002 Utteridge T D, Gebiski V, Finnie J W, Vernon-Roberts B, Kuchel T R: Longterm exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 2002, 158 (3):357-364
- Valentini et al. 2010 Valentini E, Ferrara M, Presaghi F, De Gennaro L, Curcio G: Systematic review and meta-analysis of psychomotor effects of mobile phone electromagnetic fields. *Occup Environ Med* 2010, 67(10):708-716
- van Deventer et al. 2011 van Deventer E, van Rongen E, Saunders R: WHO research agenda for radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 2011 Mar 14. doi: 10.1002/bem.20660. [Epub ahead of print]
- van Rongen et al. 2009 van Rongen E, Croft R, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, de Seze R, Tenforde T, Verschaeve L, Veyret B, Xu Z: Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2009, 12(8):572-597
- Vanderstraeten und Verschaeve 2008 Vanderstraeten J, Verschaeve L: Gene and protein expression following exposure to radiofrequency fields from mobile phones. *Environ Health Perspect* 2008, 116(9):1131-5, Review. Erratum in: *Environ Health Perspect* 2008, 116(10): A421, PubMed PMID: 18795152; PubMed Central PMCID: PMC2535611.

- Vecchio et al. 2010 Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Buffo P, Cibelli G, Curcio G, van Dijkman S, Melgari J M, Giambattistelli F, Rossini P M: Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clin Neurophysiol* 2010, 121(2):163-71
- Verschaeve et al. 2010 Verschaeve L, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, de Seze R, Tenforde T, van Rongen E, Veyret B, Xu Z: In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields. *Mutat Res* 2010, 705(3):252-68
- WHO 2010 WHO research agenda for radiofrequency fields
http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599948_eng.pdf, zuletzt besucht am 19.4.2011
- WHO 2005 Fact sheet 296: Electromagnetic fields and public health: Electromagnetic Hypersensitivity.
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs296/en/index.html>, zuletzt besucht am 18.1.2011
- WHO 2011 Electromagnetic fields and public health: mobile phones, Fact sheet N°193, June 2011
- Wake et al. 2009 Wake K, Varsier N, Watanabe S, Taki M, Wiart J, Mann S, Deltour I, Cardis E: The estimation of 3D SAR distributions in the human head from mobile phone compliance testing data for epidemiologic studies. *Phys Med Biol* 2009, 54 (19):5695-5706
- Wolf und Wolf 2004 Wolf R, Wolf S: Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. *International Journal of Cancer Prevention* 2004, 1:123-128
- Yan et al. 2007 Yan J G, Agresti M, Bruce T, Yan Y H, Granlund A, Matloub H S: Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats. *Fertil Steril* 2007, 88 (4):957-964

Abkürzungsverzeichnis

AM	<u>A</u> mpli <u>t</u> uden <u>m</u> odulation
Analog-TV	Analog-Fernsehen
BfS	<u>B</u> undesamt für <u>S</u> trahlenschutz
BHS	<u>B</u> lut- <u>H</u> irn- <u>S</u> chranke
BMU	<u>B</u> undes <u>m</u> inisterium für <u>U</u> mwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BP	<u>B</u> ereitschaftspotenzial
CEFALO	An international case-control study on brain tumours in children and adolescents
CNV	<u>C</u> ontingent <u>N</u> egative <u>V</u> ariation
COSMOS-Studie	International cohort study on mobile phone use and health
DECT	<u>D</u> igital <u>E</u> n <u>h</u> anced <u>C</u> ordless <u>T</u> elecommunications
DMF	<u>D</u> eutsches <u>M</u> obilfunk- <u>F</u> orschungsprogramm
DNA	<u>D</u> eoxyribo <u>n</u> ucleic <u>A</u> cid
DTX	Discontinuous Transmission
DVB-T	<u>D</u> igital <u>V</u> ideo <u>B</u> roadcasting- <u>T</u> errestrial
EEG	<u>E</u> lektroenzephalogramm
EFHRAN	<u>E</u> uropean <u>h</u> ealth <u>r</u> isk <u>a</u> ssessment <u>n</u> etwork on EMF exposure
EHS	<u>E</u> lectromagnetic <u>H</u> ypersensitivity
ELF	<u>E</u> xtremely <u>L</u> ow <u>F</u> requency
EMF	<u>E</u> lektromagnetisches <u>F</u> eld
FDTD	<u>F</u> inite- <u>D</u> ifference <u>T</u> ime- <u>D</u> omain
GSM	<u>G</u> lobal <u>S</u> ystem for <u>M</u> obile Communications
HF	<u>H</u> och <u>f</u> requenz
HSP	<u>H</u> itzeschockproteine
Hz	<u>H</u> ertz (Einheit der Frequenz)
ICNIRP	<u>I</u> nternational <u>C</u> ommission on <u>N</u> on- <u>I</u> onizing <u>R</u> adiation <u>P</u> rotection (Internationale Strahlenschutzkommission für nichtionisierende Strahlung)
IEI-EMF	<u>I</u> diopathic <u>E</u> nvironmental <u>I</u> ntolerance Attributed to <u>E</u> lectromagnetic <u>F</u> ields
INTERPHONE-Studie	Internationale Fall-Kontrollstudie zum Hirntumorrisiko der Handynutzung
LTD	<u>L</u> ong <u>T</u> erm <u>D</u> epression
LTE	<u>L</u> ong <u>T</u> erm <u>E</u> volution
LTP	<u>L</u> ong <u>T</u> erm <u>P</u> otentiation

MOBI-KIDS	Study on communication technology, environment and brain tumors in young people
NREM2	<u>N</u> on <u>R</u> apid <u>E</u> ye <u>M</u> ovement Sleep, Stage 2
PCMCIA	<u>P</u> ersonal <u>C</u> omputer <u>M</u> emory <u>C</u> ard <u>I</u> nternational <u>A</u> ssociation
PERFORM-B	<i>In-vitro</i> and <i>in-vivo</i> Replication Studies Related to Mobile Telephones and Base Stations
PHA	Phythämagglutinin
REFLEX	<u>R</u> isk <u>E</u> valuation of Potential Environmental Hazards <u>F</u> rom <u>L</u> ow Energy Electromagnetic Field <u>E</u> xposure Using Sensitive <i>in vitro</i> Methods
RF	<u>R</u> adio <u>F</u> requency
RT-PCR	<u>R</u> eal- <u>T</u> ime- <u>P</u> olymerase- <u>C</u> hain- <u>R</u> eaction
SAR	<u>S</u> pezifische <u>A</u> bsorptionsrate
SCE	Schwesterchromatidaustausch
SCENIHR	<u>S</u> cientific <u>C</u> ommittee on <u>E</u> merging an <u>N</u> ewly <u>I</u> dentified <u>H</u> ealth <u>R</u> isks
SSK	<u>S</u> trahlenschutzkommission
SSM	<u>S</u> trål <u>S</u> äkerhets <u>M</u> yndigheten (Swedish Radiation Safety Authority)
TETRA	<u>T</u> errestrial <u>T</u> runked <u>R</u> adio
TV	<u>T</u> elevision
UKW	<u>U</u> ltrakurzwelle
UMTS	<u>U</u> niversal <u>M</u> obile <u>T</u> elecommunications <u>S</u> ystem
UWB	<u>U</u> ltra- <u>W</u> ideband
VMT	<u>V</u> isual <u>M</u> onitoring <u>T</u> ask
W	<u>W</u> att (Einheit der Leistung)
WHO	<u>W</u> orld <u>H</u> ealth <u>O</u> rganization (Weltgesundheitsorganisation)
WLAN	<u>W</u> ireless <u>L</u> ocal <u>A</u> rea <u>N</u> etwork
ZNS	<u>Z</u> entrales <u>N</u> ervensystem

Liste der DMF-Forschungsprojekte (Stand: 18. Juli 2011)

BIOLOGIE	
B1	Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse
B2	Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
B3	Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder
B4	In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese
B5	Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen
B6	Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. A. Demodulation / Kommunikation
B7	Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen
B8	Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)
B9	In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen
B10	In-vitro-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke
B11	Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)
B12	Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System
B13	Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit/bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
B14	Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
B15	Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (in vivo)
B16	Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut
B17	Untersuchungen zu altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter

BIOLOGIE	
B18	Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem
B19	Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
B20	Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
B21	Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differentielle Genexpression
B22	Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen

DOSIMETRIE	
D1	Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren
D2	Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
D3	Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen
D4	Bestimmung der Expositionsverteilung von HF-Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysologisch relevanter Parameter
D5	Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
D6	Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen
D7	Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen" untersucht werden
D8	Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
D9	Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt
D10	Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern
D11	Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien
D12	Entwicklung eines praktikablen rechen-technischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissions-szenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen
D13	Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
D14	Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte
D15	Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologien

EPIDEMIOLOGIE	
E1	Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hochexponierter (Berufs)Gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen
E2	Beteiligung an einer Fall-Kontrollstudie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)
E3	Prospektive Kohortenstudie zu Handynutzung
E4	Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)
E5	Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
E6	Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie
E7	Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie
E8	Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
E9	Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
E10	Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie zu Basisstationen

RISIKOKOMMUNIKATION	
R1	Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
R2	Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information
R3	Ergänzende Informationen über Elektrosensible
R4	Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen
R5	Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen
R6	Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen
R7	Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21

Liste der Publikationen aus dem DMF

(BfS, Stand Mai 2011)

1. „peer reviewed“ Journals

Projekt	Zitat
Biologie	
B1	Sukhotina I, Streckert J R, Bitz A K, Hansen V W, Lerchl A: 1 800 MHz electromagnetic field effects on melatonin release from isolated pineal glands, <i>J. Pineal Res.</i> 2006, 40:86-91
B3	Sommer A M, Lerchl A: The risk of lymphoma in AKR/J mice does not rise with chronic exposure to 50 Hz magnetic fields (1 μ T and 100 μ T), <i>Radiation Research</i> 2004, 162:194-200
B3	Sommer A M, Streckert J, Bitz A K, Hansen V, Lerchl A: No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice, <i>BMC Cancer</i> 2004, 4:77
B3	Sommer A M, Lerchl A: 50 Hz magnetic fields of 1mT do not promote lymphoma development in AKR/J mice, <i>Radiation Research</i> 2006, 165:343-349
B4	Sommer A M, Bitz A K, Streckert J, Hansen V W, Lerchl A: Lymphoma Development in Mice Chronically Exposed to UMTS-Modulated Radiofrequency Electromagnetic Fields, <i>Radiat. Res.</i> 2007, 168:72-80
B5	Leitgeb N, Schröttner J, Cech R, Kerbl R: EMF-protection sleep study near mobile phone base stations. <i>Somnologie</i> 2008, 12:234-243
B6	Simeonova M, Gimsa J: Dielectric anisotropy, volume potential anomalies and the persistent Maxwellian equivalent body. <i>J. Phys.: Condens. Matter</i> 2005, 17(50):7817-7831
B6	Gimsa U, Schreiber U, Habel B, Flehr J, van Rienen U, Gimsa J: Matching geometry and stimulation parameters of electrodes for deep brain stimulation experiments--numerical considerations. <i>J Neurosci Methods</i> 2006, 150(2):212-227
B6	van Rienen U, Flehr U, Schreiber U, Schultze U, Gimsa U, Baumann W, Weiss D G, Gimsa J, Benecke R, Pau H-W.: Electro-Quasistatic Simulations in Bio-Systems Engineering and Medical Engineering. <i>Advances in Radio Science</i> 2005, 3:39-49
B6	Gimsa J, Habel B, Schreiber U, van Rienen U; Strauss U, Gimsa U: Choosing electrodes for deep brain stimulation experiments – electrochemical considerations. <i>J. Neurosci. Meth.</i> 2005, 42:251-265
B6	Maswiwat K, Holtappels M, Gimsa J: On the field distribution in electrorotation chambers – Influence of electrode shape. <i>Electrochimica Acta</i> 2006, 51:5215-5220
B6	Köster P, Sakowski J, Baumann W, Glock H-W, Gimsa J: A new exposure system for the in vitro detection of GHz field effects on neuronal networks. <i>Bioelectrochemistry</i> 2007, 70(1):104-114
B6	Sudsiri J, Wachner D, Gimsa J: On the temperature dependence of the dielectric membrane properties of human red blood cells. <i>Bioelectrochemistry</i> 2007, 70(1):134-140
B6	Simeonova M, Gimsa J: The influence of the molecular structure of lipid membranes on the electric field distribution and energy absorption. <i>Bioelectromagnetics</i> 2006, 27(8):652-666
B6	Gimsa U, Schreiber U, Habel B, Flehr J, van Rienen U, Gimsa J: Matching geometry and stimulation parameters of electrodes for deep brain stimulation experiments – Numerical considerations. <i>J. Neurosci. Meth.</i> 2006, 150:212-227
B6	Gimsa U, Igljic A, Fiedler S, Zwanzig M, Kralj-Igljic V, Jonas L, Gimsa J: Actin is not required for nanotubular protrusions of primary astrocytes grown on metal nano-lawn. <i>Mol. Mem. Biol.</i> 2007, 24:243-255

Projekt	Zitat
B6	Maswivat K, Holtappels M, Gimsa J: Optimizing the electrode shape for electrorotation chambers. <i>Journal of Applied Membrane Science and Technology Science Asia</i> 2007, 33:61-67
B6	Maswivat K, Wachner D, Warnke R, Gimsa J: Simplified equations for the transmembrane potential induced in ellipsoidal cells of rotational symmetry. <i>J. Phys. D: Appl. Phys.</i> 2007, 40:914-923
B6	Sudsiri J, Wachner D, Simeonova M, Donath J, Gimsa J: Effect of temperature on the electrorotation behavior of human red blood cells. <i>Jurnal Teknologi (Malaysia)</i> 2006, 44(F):1-12
B7	Simkó M, Hartwig C, Lantow M, Lubke M, Mattsson M O, Rahman Q, Rollwitz J: Hsp 70 expression and free radical release after exposure to non-thermal radio-frequency electromagnetic fields and ultrafine particles in human Mono Mac 6 cells, <i>Toxicology Letters</i> 2006, 161:73-82
B7	Lantow M, Schuderer J, Hartwig C, Simko M: Free Radical Release and HSP 70 Expression in two human immune-relevant cell lines after exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation, <i>Radiation Research</i> 2006, 165: 88-94
B7	Lantow M, Lupke M, Frahm J, Mattson M O, Kuster N, Simko M: ROS release and Hsp70 expression after exposure to 1.800 MHz radiofrequency electromagnetic fields in primary human monocytes and lymphocytes, <i>Radiat. Environ Biophys.</i> 2006, 45(1):55-62
B7	Lantow M, Viergutz T, Weiss D G, Simko M: Comparative Study of Cell Cycle Kinetics and Induction of Apoptosis or Necrosis after Exposure of Human Mono Mac 6 Cells to Radiofrequency Radiation, <i>Radiation Research</i> 2006, 166: 539-543
B14	Frick U, Kharraz A, Hauser S, Wiegand R, Rehm J, Kovatsits U, Eichhammer P: Comparison perception of singular transcranial magnetic stimuli by subjectively electrosensitive subjects and general population controls, <i>Bioelectromagnetics</i> 2005, 26:287-298
B14	Frick U, Mayer M, Hauser S, Binder H, Rosner R, Eichhammer P: Entwicklung eines deutschsprachigen Messinstrumentes für "Elektrosmog-Beschwerden", <i>Umweltmedizin in Forschung und Praxis</i> 2006, 11:103-113.
B14	Landgrebe M, Hauser S, Langguth B, Frick U, Hajak G, Eichhammer P: Altered cortical excitability in subjectively electrosensitive patients: Results of a pilot study. <i>J Psychosom. Res.</i> 2007, 62:283-288.
B14	Landgrebe M, Hauser S, Langguth B, Frick U, Hajak G, Eichhammer P: Transkranielle Magnetstimulation zur biologischen Charakterisierung somatoformer Störungen am Beispiel der subjektiven Elektrosensibilität. <i>Nervenheilkunde</i> 2006, 25:653-656
B14	Hauser S, Frick U, Eichhammer P, Rehm J: Cognitive factors influencing symptom report on complaints allegedly related to electromagnetic fields: research strategies and results. In: C. del Pozo, D. Papameleti, P. Wiedemann, P. Ravazzani (Eds.) <i>Risk Perception and Risk Communication in EMF: Tools, Experiences and Strategies. Proceedings JRC/EIS-EMF Workshop, Ispra 13th July 2004.</i> (pp. 66-75). Brussels: European Commission Directorate General Joint Research Centre, Institute for Consumer Health and Protection, 2006
B14	Landgrebe M, Frick U, Hauser S, Langguth B, Rosner R, Hajak G, Eichhammer P: Cognitive and neurobiological alterations in subjectively electrosensitive patients: a case-control study. <i>Psychol Medicine</i> 2008, 38:1781-1791
B14	Landgrebe M, Barta W, Rosengarth K, Frick U, Hauser S, Langguth B, Rutschman R, Greenlee M W, Hajak G, Eichhammer P: Neuronal correlates of symptom formation in functional somatic syndromes: a fMRI Study. <i>NeuroImage</i> 2008, 41:1336-44
B18	El Ouardi A, Streckert J, Bitz A, Münkner S, Engel J, Hansen V: New fin-line devices for radiofrequency exposure of small biological samples in vitro allowing whole-cell patch clamp recordings. <i>Bioelectromagnetics</i> 2011, 32:102-112

Projekt	Zitat
B19	Danker-Hopfe H, Dorn H: Biological Effects of Electromagnetic Fields at Mobile Phone Frequencies on Sleep: Current State of Knowledge from Laboratory Studies. <i>Somnologie</i> 2005, 9:192-198
B19	Danker-Hopfe H, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C: Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep. <i>J. Sleep Res.</i> 2011, 20:73-81
B19	Sauter C, Dorn H, Bahr A, Hansen M-L, Peter A, Bajbouj M, Danker-Hopfe H: Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. <i>Bioelectromagnetics</i> 2011, 32:179-190
B20	Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel Ch, Sauter C: Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. <i>Am. J. Hum. Biol.</i> 2010, 22:613-618
B22	Sommer A M, Grote K, Reinhardt T, Streckert J, Hansen V, Lerchl A: Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields (UMTS) on Reproduction and Development of Mice: A Multi-generation Study. <i>Radiation Research</i> 2009, 171:89-95
B22	Dahmen N, Ghezal-Ahmadi D, Engel A: Blood laboratory findings in patients suffering from self-perceived electromagnetic hypersensitivity (EHS). <i>Bioelectromagnetics</i> 2009, 30:299-306
Dosimetrie	
B3 B4 B22	Reinhardt T, Bitz A, El Ouardi A, Streckert J, Sommer A, Lerchl A, Hansen V: Exposure set-ups for in vivo experiments using radial waveguides, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:21-26
B9	Tejero S. , Schelkshorn S, Detlefsen J: Concept for the controlled plane wave exposure for animal experiments using a parabolic reflector, <i>Advances in Radio Science</i> 2005, 3:233-238
B9	Schelkshorn S, Tejero S, Detlefsen J: Exposure setup for animal experiments using a parabolic reflector, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:27-30
B12	Ahlers M T, Bolz T, Bahr A, Ammermüller J: Temperature-controlled exposure systems for investigating possible changes of retinal ganglion cell activity in response to high-frequency electromagnetic fields. <i>Radiat. Environ. Biophys.</i> 2009, 48:227-35
B12	Mann S: Rapporteur's report, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:2-5
B12	The editors German Mobile Telecommunication Research Programme International Workshop on Final Results of Dosimetry Projects, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:1
B19	Bahr A, Dorn H, Bolz T: Dosimetric Assessment of an Exposure System for Simulating GSM and WCDMA Mobile Phone Usage, <i>Bioelectromagnetics</i> 2006, 27:320-327
B19, B11	Bahr A, Adami C, Bolz T, Rennings A, Dorn H, Rüttiger L: Exposure setups for laboratory animals and volunteer studies using body-mounted antennas, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:31-44
D2	Schmid G, Preiner P, Lager D, Überbacher R, Georg R: Exposure of the general public due to wireless LAN applications in public places, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:48-52
D4	Schmid G, Überbacher R, Samaras T, Jappel A, Baumgartner W-D, Tschabitscher M, Mazal P R: High-resolution numerical model of the middle and inner ear for a detailed analysis of radio frequency absorption. <i>Phys. Med. Biol.</i> 2007, 52:1771-1781
D4	Schmid G, Überbacher R, Samaras T: Radio frequency-induced temperature elevations in the human head considering small anatomical structures, <i>Radiation Protection Dosimetry</i> 2007, 124:15-20.
D4	Schmid G, Überbacher R, Samaras T, Tschabitscher M, Mazal P R: The dielectric properties of human pineal gland tissue and RF absorption due to wireless communication devices in the frequency range 400-1850 MHz, <i>Phys. Med. Biol.</i> 2007, 52:5457-68.

Projekt	Zitat
D5	Christ A, Klingenböck A, Samaras T, Goiceanu C, Kuster N: The Dependence of Electromagnetic Far-Field Absorption on Body Tissue Composition in the Frequency Range From 300 MHz to 6 GHz. IEEE Transactions on microwave theory and techniques 2006, 54:2188-2195
D5	Christ A, Samaras T, Klingenböck A, Kuster N: Characterization of the electromagnetic near-field absorption in layered biological tissue in the frequency range from 30 MHz to 6000 MHz, Phys. Med. Biol. 2006, 51:4951-4965
D5	Samaras T, Christ A, Klingenböck A, Kuster N: Worst-case temperature rise in a one-dimensional tissue model exposed to radiofrequency radiation”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2007, 54:492-496
D5	Christ A, Samaras T, Neufeld E, Klingenböck A, Kuster N: SAR Distribution in human beings when using body-worn RF transmitters, Radiation Protection Dosimetry 2007, 124:6-14
D6 D3	Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P: Determination of the general public exposure around GSM and UMTS base stations ,Radiation Protection Dosimetry 2007, 124:40-47
D7	Neitzke H P, Osterhoff J, Peklo K, Voigt H: Determination of exposure due to mobile phone base stations in an epidemiological study, Radiat. Prot. Dosimetry 2007, 124:35-39
D7	Breckenkamp J, Neitzke H P, Bornkessel C, Berg-Beckhoff G: Applicability of an Exposure Model for the Determination of Emissions from Mobile Phone Base Stations, Radiation Protection Dosimetry 2008, 131:474-481
D8	Schmid G, Lager D, Preiner P, Überbacher R, Cecil S: Exposure caused by wireless technologies used for short-range indoor communication in homes and offices, Radiation Protection Dosimetry 2007, 124:58-62
D9	Baumann J, Landstorfer F M, Geisbusch L, Georg R: Evaluation of radiation exposure by UMTS mobile phones. Electronics Letters 2006, 42:225-226
D10	Schubert M, Bornkessel C, Wuschek M, Schmidt P: Exposure of the general public to digital broadcast transmitters compared to analogue ones, Radiation Protection Dosimetry 2007, 124:53-57
D13	Gulich R, Köhler M, Lunkenheimer P, Loidl A: Dielectric spectroscopy on aqueous electrolytic solutions. Radiat. Environ. Biophys. 2008, 48:107-114
E9	Radon K, Spiegel H, Meyer N, Klein J, Brix J, Wiedenhofer A, Eder H, Praml G, Schulze A, Ehrenstein V, von Kries R, Nowak D: Personal Dosimetry of Exposure to Mobile Telephone Base Stations? An Epidemiologic Feasibility Study Comparing the Maschek Dosimeter Prototype and the Antennessa DSP-090 System, Bioelectromagnetics 2006, 27:77-81
Epidemiologie	
E1	Berg G, Breckenkamp J, Blettner M.: Gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter Strahlenexposition, Dt. Ärzteblatt 2003, 42:A 2738
E1	Breckenkamp J, Berg G, Blettner M: Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: a synopsis of cohort studies. Radiat. Environ. Biophys. 2003, 42(3):141-154
E1	Breckenkamp J, Berg-Beckhoff G, Münster E, Schüz J, Schlehofer B, Wahrendorf J, Blettner M: Feasibility of a cohort study on health risks caused by occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields. Environ. Health 2009, 29(8):23
E2	Schmidt-Pokrzywniak A, Jöckel K H, Bornfeld N, Stang A: Case-control study on uveal melanoma (RIFA): Rational and design, BMC Ophthalmology 2004, 4:1-9
E2	Stang A, Schmidt-Pokrzywniak A, Lehnert M, Parkin D M, Ferlay J, Bornfeld N, Marr A, Jöckel K H: Population-based incidence estimates of uveal melanoma in Germany: Supplementing cancer registry data by case-control data. Eur. J. Cancer Prev. 2006, 15:165-170

Projekt	Zitat
E2	Stang A, Schmidt-Pokrzywniak A, Lash TL, Lommatzsch PK, Taubert G, Bornfeld N, Jöckel KH: Mobile phone use and risk of uveal melanoma: results of the risk factors for uveal melanoma case-control study. <i>J. Natl. Cancer Inst.</i> 2009, 101(2):120-123
E4	Schüz J, Böhler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schläefer K, Wahrendorf J, Kunna-Grass K, Blettner M: Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany), <i>Am. J. Epidemiol.</i> 2006, 63:512-520
E4	Schüz J, Böhler E, Schlehofer B, Berg G, Schläefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M: Radio frequency electromagnetic fields emitted of DECT cordless phones and risk of glioma and meningioma (Interphone study group, Germany), <i>Radiat. Res.</i> 2006, 166:116-119
E4	Berg G, Spallek J, Schlehofer B, Böhler E, Schläefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M: Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. <i>Am. J. Epidemiol</i> 2006, 164:538-548.
E4	Breckenkamp J, Berg G, Blettner M: Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: a synopsis of cohort studies. <i>Radiat. Environ. Biophys.</i> 2003, 42:141-154
E4	Samkange-Zeeb F, Schlehofer B, Schüz J, Schläefer K, Berg-Beckhoff G, Wahrendorf J, Blettner M: Occupation and risk of glioma, meningioma and acoustic neuroma: results from a German case-control study (interphone study group, Germany). <i>Cancer Epidemiol.</i> 2010, 34(1):55-61
E5	Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Brüggemeyer H, Philipp J, Spix C, Blettner M, Schüz J: Leukämie bei Kindern in der Umgebung von Sendestationen des Rundfunks – Anforderungen an das Studiendesign. <i>Umweltmed. Forsch. Prax.</i> 2007, 12:213-223
E5	Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K: Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study, <i>Environ. Health</i> 2010, 9:75
E5	Schmiedel S, Brüggemeyer H, Philipp J, Wendler J, Merzenich H, Schüz J: An evaluation of exposure metrics in an epidemiologic study on radio and television broadcast transmitters and the risk of childhood leukemia. <i>Bioelectromagnetics</i> 2009, 30(2):81-91
E5	Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Brüggemeyer H, Philipp J, Blettner M, Schüz J: Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters. <i>Am. J. Epidemiol.</i> 2008, 168(10):1169-1178
E8	Berg-Beckhoff G, Blettner M, Kowall B, Breckenkamp J, Schlehofer B, Schmiedel S, Bornkessel C, Reis U, Potthoff P, Schüz J: Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields. <i>Occup. Environ. Med.</i> 2009, 66(2):124-130
E8	Blettner M, Schlehofer B, Breckenkamp J, Kowall B, Schmiedel S, Reis U, Potthoff P, Schüz J, Berg-Beckhoff G: Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany. <i>Occup. Environ. Med.</i> 2009, 66(2):118-123
E9	Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K: The impact of exposure to radio frequency electromagnetic fields on chronic well-being in young people – a cross-sectional study based on personal dosimetry. <i>Environ. Int.</i> 2011, 37:26-30
E9	Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K: Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessing dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. <i>Environ. Health</i> 2010, 9:75
E9	Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K: Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. <i>Eur. J. Epidemiol.</i> 2010, 25:135-141

Projekt	Zitat
E9	Thomas S, Kühnlein A, Heinrich S, Praml G, von Kries R, Radon K: Exposure to mobile telecommunication networks assessed using personal dosimetry and well-being in children and adolescents: the German MobilEe-study. BioMed Central 2008, doi:10.1186/1476-069X-7-54
E9	Kühnlein A, Heumann C, Thomas S, Heinrich S, Radon K: Personal exposure to mobile communication networks and well-being in children – a statistical analysis based on functional approach. Bioelectromagnetics 2009, 30:261-269
E10	Bornkessel C, Blettner M, Breckenkamp J, Berg-Beckhoff G: Quality control for exposure assessment in epidemiological studies. Radiat. Prot. Dosimetry 2010, 140(3):287-293
E10	Breckenkamp J, Neitzke HP, Bornkessel C, Berg-Beckhoff G: Applicability of an exposure model for the determination of emissions from mobile phone base stations. Radiat. Prot. Dosimetry 2008, 131(4):474-481

2. Kongressbeiträge

Projekt	Zitat
Biologie	
B2	Schmid G, Pipal L, Widhalm K, Tschabitscher M: Feasibility and reasonable endpoints of investigations regarding a possibly higher RF-exposure risk for children, 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 543
B3	Sommer A M, A. Bitz J, Streckert V, Hansen V, Lerchl A: No effect from 900 MHz electromagnetic fields on the spontaneous development of lymphoma in female AKR/J Mice, 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 258
B3	Lerchl A, Sommer A M: Consistent outcome of exposure of pre-leukaemic AKR/J mice to magnetic (50 Hz, 1, 100 and 1000 μ Tesla) and electromagnetic fields (900 MHz, 1966 MHz, 0.4 W/kg SAR), 8 th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, 2007, Bordeaux, Abstract S-7-5
B3	Sommer A M, Lerchl A, Bitz A, Streckert J, Hansen V: UMTS-modulated electromagnetic fields do not influence the development of lymphoma in female AKR/J mice, 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 177
B5	Leitgeb N: Subjective sleep impairment in the vicinity of mobile phone base stations, 8th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 2007, Bordeaux
B6	Haberland L, Simeonova M, Alsbach W, Brandt S, Dubois W: Analysis of literature (abstracts) on biological effects of EMF in the frequency range 2 - 3 GHz, 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 28
B6	Sudsiri J, Wachner D, Gimsa J: Effect of temperature on the electrorotation behavior of human red blood cells: Implication for a transition in ion transport around 15°C, Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Abstract Book
B6	Köster P, Scheinemann A, Baumann W, Glock H-W: A new exposure system for the in vitro detection of GHz field effects on neuronal networks, Joint Meeting Bioelectrochemistry, 2005, Coimbra
B7	Lantow M, Simkó M: 1800 MHz RF-EMF do not induce free radical production in different immune relevant cells, 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 226
B7	Lantow M, Hartwig C, Maercker C, Simko M: Free radical production, Hsp70 expression and protein profiling after 1800 MHz RF exposure in different immune relevant cells, 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 126
B9	Bornhausen M, Stangassinger M, Erhard M, Stohrer M, Detlefsen J, Schelkdhorn S, Eberle J, Petrowicz O: Research project on the detection and analysis of alleged cognitive, biochemical and immunological consequences of chronic exposure of three generations of rats to electromagnetic GSM- and UMTS-fields of mobile communication, International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 2003, Budapest, Hungaria, p 62
B9	Bornhausen M, Okorn S, Stangassinger M, Erhard M, Stohrer M, Detlefsen J, Schelkshorn S, Eberle J and Petrowicz O: Are there any health consequences of chronic exposure to GSM- or UMTS-fields? Research Project on eventual cognitive, immunological and blood-brain-barrier effects in three generations of rats, 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 260
B10	Franke H, Streckert J, Bitz A, Hansen V, Young P: Differential gene expression at the RF-EMF exposed BBB in vitro, 28 th BEMS Annual Meeting, 2006, Cancun, Mexico, 303-304
B10	Bitz A, Reinhardt T, El Ouardi A, Streckert J, Franke H, Zimmer J, Hansen V: Exposure of cell monolayers and hippocampal slice cultures inside radial waveguides, 28 th BEMS Annual Meeting, 2006, Cancun, Mexico, 273-274

Projekt	Zitat
B12	Ahlers M T, Tillmans F, Deister F, Bolz T, Bahr A, Ammermüller J: Effects of GSM 900 electromagnetic field exposure on retinal ganglion cell responses, Meeting of the German Neuroscience Society, 2007, Göttingen
B12	Ahlers M T, Tillmans F, Bolz T, Bahr A, Friedl T, Ammermüller J: Effects of electromagnetic field exposure on retinal ganglion cell responses, European Retina Meeting 2007, Frankfurt, Germany
B14	Landgrebe M, Hauser S, Langguth B, Barta W, Rosengarth K, Greenlee M, Frick U, Hajak G, Eichhammer P: Dysfunctional cognitive strategies in subjectively electrosensitive patients – a fMRI study, 4th International Workshop on Biological Effects of EMFs, 2006, Crete, Greece
B14	Frick U, Landgrebe M, Hauser S, Hajak G, Eichhammer P: Perceptive and motor response thresholds during single pulse transcranial magnetic stimulation of subjectively electrosensitive subjects as compared to controls – a replication study, 4th International Workshop on Biological Effects of EMFs, 2006, Crete, Greece
B15	Billaudel B, Taxile M, Mayeur L, Ladeveze E, Laclau M, Haro E, Leveque P, Ruffie G, Poullietie de Gannes F, Lagroye I, Veyret B: Effects of a 4-week chronic head only exposure to GSM 1800 or UMTS signals on the brain of Wistar-HAN Rats, 8 th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, 2007, Bordeaux, Abstracts 127, p 43
B18	Münkner S, El Ouardi A, Streckert J, Hansen J, Engel J:(2007) Ionic currents through Ca ²⁺ channels in mature mouse Inner Hair Cells under mobil phone field exposure, Meeting of the German Neuroscience Society, 2007, Göttingen
B19	Danker-Hopfe H, Dorn H: Dop GSM and/or UMTS electromagnetic fields have an effect on sleep? Abstracts 18 th Cong. Europ. Sleep Soc, J. Sleep Res. . 2006, 15 pp 1-253
B19	Danker-Hopfe H, Dorn H, Anderer P: Do high frequency electromagnetic fields of the GSM and the UMTS standard for mobile communication affect sleep structure and/or sleep spindles? World Federation of Sleep Research and Sleep Medicine Societies, 2007, Cairns
B19	Danker-Hopfe H, Bahr A, Dorn H: Do high frequency electromagnetic fields of the GSM and/or the UMTS standard for mobile communication affect sleep? BEMS, 2007, Kanazawa, Japan
B19	Danker-Hopfe H, Dorn H: Laboratory study: Studies of the effects of exposure to electromagnetic fields emitted from mobile phones on volunteers, FGF Workshop: Sleep Disorders, EEG-Changes, Altered Cognitive Functions – Is There a Connection With the Exposure to Mobile Communication RF Fields? 2007, Stuttgart
B20	Dorn H, Danker-Hopfe H: Field Study: Investigation of sleep quality in persons living near a mobile base station – Experimental study on the evaluation of possible psychological and physiological effects under residential conditions FGF Workshop: Sleep Disorders, EEG-Changes, Altered Cognitive Functions – Is There a Connection With the Exposure to Mobile Communication RF Fields?, 2007, Stuttgart
Dosimetrie	
B3	Bitz A K, Streckert J, Sommer A M, Lerchl A, Hansen V W: 2 GHz- exposure of non-restrained AKR/J mice in a slightly over-moded radial waveguide, 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 139
B9	Tejero S, Schelkshorn S, Detlefsen J: Compact Setup for an Homogeneous Plan-Wave Exposure for In-Vivo Experiments, GeMiC German Microwave Conference, 2006, Karlsruhe, Germany
B9	Tejero S, Schelkshorn S, Detlefsen J, Okorn S, Bornhausen M, Petrowicz O: Setup for the controlled plane wave exposure at GSM and UMTS bands for in vivo experiments using a parabolic reflector, 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 483
B19	Bahr A, Dorn H, Bolz T: Exposure system for stimulating GSM and WCDMA mobile phone usage, 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 90

Projekt	Zitat
D1	Berdiñas Torres V, Fröhlich J, Klingenböck A, Nikoloski N, Kuster N: Relevant exposure parameters for the comparison of animal studies, International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 2003, Budapest, Hungaria, p. 69.
D1	Fröhlich J, Berdiñas Torres V, Ladbury J M, Wilson P F, Kuster N: In vivo exposure systems for use in studies with large numbers of rodents at cellular telephone frequencies, 25th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, 2003, Maui, Hawaii, p. 147
D1	Fröhlich J, Chavannes N, Kuster N: Ratio of spatial peak and whole body SAR dependent on frequency and polarization in animals and humans", XXVII General Assembly of URSI, 2002, Maastricht, Netherlands
D1	Fröhlich J, Chavannes N, Nikoloski N, Kuster N: Rigorous analysis of EM absorption in high resolution anatomical models using FDTD", AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2002, San Antonio, Texas, USA, p. 50.
D4	Überbacher R, Schmid G, Tschabitscher M: New high resolution numerical model of inner ear organs for RF-dosimetry - preliminary results in the 900 MHz - 10 GHz range, BEMS, 2006, Cancun, Mexico
D6	Bornkessel C, Schubert M: Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition durch Mobilfunk-Basisstationen, EMV Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, 2006, Düsseldorf, Germany
D6 D3	Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P: Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von GSM und UMTS Basisstationen“, Adv. Radio Sci. 2007, 5:163–168
D6 D3	Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P: Systematic Analysis of General Public EMF Exposure Around GSM and UMTS Base Stations,“ BEMS 29th Annual Meeting, 2007, Kanazawa (Japan)
D6 D3	Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P: Measurement and Calculation of General Public Electromagnetic Exposure Around GSM and UMTS Cellular Base Stations, INICA Int. ITG-Conference on Antennas, 2007, München
D7	Neitzke H-P, Osterhoff J, Peklo K, Voigt H: Ermittlung der Hochfrequenz-Expositionen durch Mobilfunk-Basisstationen in epidemiologischen Studien, 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 2004, Köln
D7	Voigt H, Neitzke H-P, Osterhoff J, Peklo K: Hochfrequenz-Expositionen in Wohnungen in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen, 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 2004, Köln
D8	Schmid G, Lager D, Preiner P: Exposure assessment in the electromagnetic fields of indoor-used modern wireless communication devices, 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 478
D10	Bornkessel C, Wuschek M: Exposure Measurements of Modern Digital Broadband Radio Services, GeMiC German Microwave Conference, 2006, Karlsruhe, Germany
D10	Wuschek M, Bornkessel C, Schubert M: Hochfrequente Immissionen durch digitale Tonrundfunk- und Fernsehsender (DAB, DVB-T), EMV Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, 2006, Düsseldorf, Germany
D10	Schubert M, Bornkessel C, Wuschek M, Schmidt P: Vergleich der Exposition der Bevölkerung durch digitale und analoge Rundfunksender, Adv. Radio Sci. 2007, 5:163-168
D10	Wuschek M, Bornkessel C: Exposure of General Public to Digital Broadcast Transmitters (DVB-T, DAB), COST 281 Workshop on Emerging EMF Technologies, Potential Sensitive Groups and Health, 2006, Graz
D10	Schubert M, Bornkessel C, Wuschek M, Schmidt P: Electromagnetic Exposure of the General Public to DVB-T and DAB Transmitters Compared to Analogue TV and FM Radio, INICA 2007 Int. ITG-Conference on Antennas, 2007, München

Projekt	Zitat
D11	Schmid G, Cecil S, Ueberbacher R, Georg R: Numerical investigation of field elevations due to mobile phone usage in transportation means compared to free space conditions, The Bioelectromagnetics Society 29th Annual Meeting, 2007, Kanazawa, Japan
Epidemiologie	
B20	Danker-Hopfe H, Sauter C, Bornkessel C, Dorn H: Investigation of Sleep Quality in Persons Living Close to a Mobile Phone Base Station – Results From an Experimental Study, BEMS 30 th Annual Meeting, 2008, San Diego (USA)
E1	Berg G, Böhler E, Schlehofer B, Blettner M: Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für eine Berufskohorte, die durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert ist, 50. Jahrestagung der GMDS, 12. Jahrestagung der DAE, 2005, Freiburg
E2	Schmidt-Pokrzywniak A, Jöckel K H, Bornfeld N, Marr A, Stang A.: Nonresponse-Analyse der RIFA Fall-Kontroll Studie, 50. Jahrestagung der GMDS, 12. Jahrestagung der DAE, 2005, Freiburg
E4	Berg G, Schüz J, Schlehofer B, Böhler E, Schläfer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M: Einflussfaktoren für die Responserate in Fall-Kontroll Studien – ein Vergleich über Zeitreihen und Studienzentren, Erfahrungen aus der INTERPHONE Studie, 50. Jahrestagung der GMDS, 12. Jahrestagung der DAE, 2005, Freiburg
R1	Wienert R, Klubertz F, Driessen S, Dechent D, Silny J: EMF-Portal offers up-to-date information on published scientific studies, 28 th Annual Meeting Bioelectromagnetics Society, 2006, Abstract Book p134–135
R1	Driessen S, Meyer M, Wienert R, Silny J: Representation of the literature on the effects of electromagnetic fields, 27th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, 2005, Dublin, Ireland
R1	Wienert R, Driessen S, Meyer M, Klubertz F, Silny J: EMF-Portal: Benefit for information retrieval on the biological effects of electromagnetic fields, 27th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, 2005, Dublin, Ireland
R1	Wienert R, Dechent D, Klubertz F, Silny J: Internet portal and Information System on the biological effects of electro-magnetic fields „EMF-portal”, Proceedings 25 th Annual Meeting of the Bioelectromagnetic Society, 2003, Maui, Hawaii, p 403

3. Sonstiges

Projekt	Zitat
Biologie	
B6	Gimsa J: Klassifizierung möglicher Wirkungsmechanismen von EMF – ein Beitrag zu molekularen Hochfrequenz-Antennen, FGF Newsletter 2003, 4:50–52
B6	Gimsa U, Scheunemann A, Wachner D, Sakowski J, Köster P, Gimsa J: Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf zellulärer Ebene – eine Literaturstudie, Shaker Verlag, Aachen, 2006, ISBN-10:3-8322-5251-7
B6	Gimsa U, Kralj-Iglic V, Iglic A, Fiedler S, Zwanzig M, Jonas L, Gimsa J: Basic cell-cell and cell-surface interactions in liposome and cellular systems, in: A. Leitmannova Liu (ed.): Advances in planar lipid bilayers and liposomes, Elsevier, 2006, 5: 229-251
B6	Fischer R: Entwicklung und Test von Hochfrequenz-Expositionseinrichtungen im GHz-Bereich, Diplomarbeit am Institut für Allgemeine Elektrotechnik und am Lehrstuhl für Biophysik an der Universität Rostock, 2006
R1	Wienert R, Driessen S: Internet-Informationssystem über die Wirkungen elektromagnetischer Felder (EMF-Portal), Newsletter, FGF-Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (Hrsg.) 13. Jahrgang, Heft 2/2005: 4-13
R1	Wienert R, Driessen S, Silny J: EMF-Portal – Internet Informationssystem. Posterpräsentation Bremer Forum für Wissenschaftsjournalismus, Messe Centrum Bremen, 2005
Dosimetrie	
D6 D10 D3	Bornkessel C, Wuschek M: Fachgerechte Messung hochfrequenter elektromagnetischer Immissionen von Funkseideanlagen des Rundfunks und Mobilfunks, EMF-Monitor 2006, 12: 1-6
D6 D3	Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Schmidt P: Elektromagnetische Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von GSM- und UMTS-Basisstationen, HF-Report, 2007, 21 no. 1