



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 223. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 13.05.2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Themenbereich Biologie	6
2.1	Einleitung.....	6
2.2	Elektrosensibilität	7
2.3	Schlafqualität.....	8
2.4	Einflüsse auf Sinnesorgane.....	9
2.4.1	Ohr	9
2.4.2	Auge	10
2.5	Zelluläre Wechselwirkungsmechanismen	11
2.6	Kanzerogenität	12
2.7	Langzeiteffekte.....	13
2.7.1	Mehr-Generationen-Studie.....	13
2.7.2	Altersabhängige Wirkungen, speziell bei Kindern.....	13
3	Themenbereich Epidemiologie	14
4	Themenbereich Dosimetrie	16
4.1	Expositionen im Alltag	16
4.1.1	Sendeanlagen	16
4.1.2	Endgeräte.....	17
4.1.3	Expositionsabschätzung für epidemiologische Studien	18
4.2	Ermittlung intrakorporaler SAR-Verteilungen	19
5	Themenbereich Risikokommunikation	20
6	Zusammenfassende Bewertung	23
6.1	Ursprüngliche Fragestellung	23
6.2	Erkenntnisgewinn	24
6.2.1	Biologie.....	24
6.2.1.1	Elektrosensibilität.....	24
6.2.1.2	Laborstudien	25
6.2.2	Epidemiologie	24
6.2.3	Dosimetrie.....	27
6.2.4	Risikokommunikation.....	28
6.3	Offene Fragen und Forschungsbedarf	28
7	Schlussfolgerung und Ausblick	30
8	Literatur	31
	Abkürzungsverzeichnis	32
	Liste der DMF-Forschungsprojekte (Stand: 07. Mai 2008)	34
	Anhang 'Grenzwerte'	38

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Diskussionen über gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der geltenden Grenzwerte und der zunehmenden Verbreitung und umfassenden Durchdringung der Mobilfunknutzung in der Bevölkerung bat die Bundesregierung die Strahlenschutzkommission (SSK) im Jahre 2000, den aktuellen Kenntnisstand zu bewerten. In der Folge empfahl die SSK in ihrer Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ (SSK 2001) als eine der Vorsorgemaßnahmen die Intensivierung der Forschungsaktivitäten zur Klärung offener Fragen. Daraufhin beauftragte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) durchzuführen, für das insgesamt 17 Millionen Euro je zur Hälfte von den Mobilfunknetzbetreibern und dem BMU aufgewendet wurden. Um unabhängige Forschung sicherzustellen, wurde die potenzielle Einflussnahme von Mobilfunkbetreibern auf Forschungsnehmer dadurch ausgeschlossen, dass das BfS die Verwaltung der Gelder, die Entscheidung über Forschungsthemen und die organisatorische Abwicklung des Forschungsprogramms übernahm. In den Jahren 2002 bis 2008 wurden insgesamt 54 Forschungsprojekte (darunter einige, die als Ergänzung zu Hauptstudien vergeben worden sind) zu Fragestellungen aus den Themenbereichen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation bearbeitet.

In ihrer Empfehlung (SSK 2001) hatte die SSK offene wissenschaftliche Fragestellungen identifiziert und Empfehlungen zu Forschungsthemen abgegeben. Als eine der zum Diskussionsprozess zur Festlegung von Projekten und Forschungsprioritäten für das DMF eingeladenen Gruppen hat sich die Strahlenschutzkommission am öffentlichen Fachgespräch über die geplanten Forschungsprojekte und an mehreren vom BfS veranstalteten wissenschaftlichen Workshops zur Präsentation von Zwischenberichten über DMF-Projekte beteiligt. Die SSK hat darüber hinaus am Runden Tisch zum Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm an der DMF-begleitenden Diskussion aktiv mitgewirkt.

In der vorliegenden Stellungnahme bewertet die SSK die 36 zum Zeitpunkt der Beratungen abgeschlossenen Forschungsprojekte auf Basis der vorliegenden Abschlussberichte aus wissenschaftlicher Sicht in Hinblick auf die Eignung der ausgewählten Forschungsthemen, die wissenschaftliche Qualität der durchgeführten Arbeiten, den erzielten Erkenntnisgewinn zur Bewertung der gesundheitlichen Aspekte des Mobilfunks und in Hinblick auf Fragestellungen, die noch offen geblieben sind oder die sich durch die zwischenzeitliche Entwicklung des internationalen Wissensstandes neu ergeben haben könnten.

Als Grundlage für diese Stellungnahme wurden die vorliegenden Abschlussberichte einzelner Forschungsprojekte durch wenigstens zwei unabhängige Experten des Ausschusses „Nichtionisierende Strahlen“ der SSK analysiert und bewertet. Zur Sicherstellung der Objektivität und Unbefangenheit wurden nur Mitglieder des SSK-Ausschusses bzw. der SSK zur Projektbewertung eingesetzt, die weder direkt noch indirekt in die Abwicklung der

jeweiligen Projekte eingebunden waren. Zusätzlich wurden zur Bewertung der Projekte auch unabhängige externe Gutachter hinzugezogen.

Basierend auf den Projektgutachten wurden die Ergebnisse des DMF im SSK-Ausschuss „Nichtionisierende Strahlen“ kritisch diskutiert und ein Entwurf der Stellungnahme erarbeitet, der in die SSK eingebracht und dort nach eingehender Diskussion fertig gestellt und verabschiedet wurde.

Zu den 4 Themenbereichen des DMF nimmt die SSK im Folgenden Stellung.

2 Themenbereich Biologie

2.1. Einleitung

Im Rahmen des Themenbereichs „Biologie“ des DMF wurden insgesamt 22 Vorhaben vergeben, 13 von ihnen sind abgeschlossen, die weiteren 9 sind noch in Arbeit bzw. stehen kurz vor dem Abschluss.

Auch wenn sich bei den Projekten teilweise thematische Überschneidungen ergeben, lassen sich die Forschungsvorhaben folgenden Schwerpunkten zuordnen:

- Elektrosensibilität (B5, B13, B14, R3),
- EEG und Schlafqualität (B5, B19, B20),
- Einflüsse auf Sinnesorgane (B11, B12, B18),
- Blut und Blut-Hirn-Schranke (B10, B15, B16, B21),
- zelluläre Vorgänge und Mechanismen (B1, B6, B7)
- Kanzerogenität (B3, B4).
- Langzeiteffekte (B9, B22),
- altersabhängige Wirkungen, speziell bei Kindern (B2, B17),
- Gesamtmetabolismus (B8).

Die enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den biologisch arbeitenden Experimentatoren und Ingenieuren, welche den hochfrequenztechnischen Anteil verantworteten, ist als ein besonders positives Charakteristikum des Gesamtprogramms zu werten. Die dadurch erfolgte Entwicklung verbesserter Expositionsapparaturen sowie eine genauere Dosimetrie haben zu einer entscheidenden Qualitätssteigerung der Laboruntersuchungen beigetragen. Die Expositionen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern erfolgten sowohl unterhalb als auch oberhalb der Grenzwerte für die spezifische Absorptionsrate (SAR). Diese sind für die Ganzkörperexposition für die Allgemeinbevölkerung mit 0,08 W/kg und für die Teilkörperexposition für jeweils 10 g Körpergewebe mit 2 W/kg festgelegt. Für beruflich Exponierte liegt der Ganzkörpergrenzwert

bei 0,4 W/kg. Der Teilkörpergrenzwert beträgt 10 W/kg (weitere Informationen, siehe Anhang).

Im Folgenden wird auf die Themenschwerpunkte auf Grundlage der vorliegenden Abschlussberichte und der Einschätzungen der Gutachter eingegangen.

2.2. Elektrosensibilität

Personen, die unter unspezifischen Krankheitssymptomen leiden und diese auf die Einwirkung von „Elektrosmog“ zurückführen, erklären den Umstand, dass der Großteil der Bevölkerung bei gleichen Expositionen keine Symptome entwickelt, dadurch, dass sie „elektrosensibel“ seien, also eine im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung erheblich gesteigerte Empfindlichkeit aufweisen würden. In Provokationsexperimenten konnte diese Hypothese bisher nicht bestätigt werden. Außer den subjektiven Überzeugungen war es darüber hinaus weder möglich, Kriterien zu finden, die die objektive Identifizierung „Elektrosensibler“ ermöglichen, noch konnte nachgewiesen werden, dass die Gesundheitsbeschwerden ursächlich mit elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern zusammenhängen. Im Rahmen des DMF liegen die Ergebnisse dreier Forschungsprojekte vor, die sich direkt oder indirekt mit dieser Thematik befassten, allerdings ohne einheitliche Definition von „Elektrosensibilität“ und mit verschiedenen Auswahlkriterien für „elektrosensible“ Probanden. Im Vorhaben B14¹ wurden epidemiologische und klinische Verfahren kombiniert. In Form einer Fall-Kontrollstudie wurden 89 subjektiv „elektrosensible“ Personen und 109 Kontrollen verglichen. „Elektrosensible“ klagten über eine deutlich erhöhte Anzahl gesundheitlicher Beschwerden. Mit Hilfe transcranialer Magnetstimulation (TMS) wurde gezeigt, dass „Elektrosensible“ auch unter Scheinexpositionen häufiger einen Reiz zu verspüren glaubten. Wegen der erhöhten falsch-positiv Raten wiesen sie ein geringeres Unterscheidungsvermögen auf als Kontrollpersonen. Durch Einsatz funktionaler Magnetresonanztomographie konnte die kortikale Aktivität in Bezug auf wahre und vorgetäuschte externe Reize ermittelt werden. Bei Wärmereizen ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen, wohingegen „Elektrosensible“ deutlich auch auf nur angekündigte (jedoch nicht applizierte) Mobilfunksignale reagierten. Die erhobenen Daten deuten darauf hin, dass „Elektrosensible“ veränderte kortikale Verarbeitungen aufweisen. Insgesamt konnten keine objektiven Kriterien für „Elektrosensibilität“ gefunden werden.

Im Projekt B5² wurden in einem neuen Ansatz an 43 unter Schlafstörungen leidenden und sich als „elektrosensibel“ bezeichnenden Anwohnern von Basisstationen die Auswirkung der Abschirmung der vorhandenen hochfrequenten elektromagnetischen Felder auf die subjektiv empfundene und mittels polysomnographischer Aufzeichnungen ermittelte objektive

¹ *Forschungsprojekt B14: Frick, U., Hauser, S., Landgrebe, M., Eichhammer P.: Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter.*

² *Forschungsprojekt B5: Leitgeb, N.: Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen*

Schlafqualität untersucht. Die Ergebnisse konnten die gefestigten persönlichen Überzeugungen nicht bestätigen.

Das Projekt R3³ hatte zum Ziel, „elektrosensible“ Personen hinsichtlich ihrer Persönlichkeitsmerkmale zu beschreiben. Als „Elektrosensible“ wurden dabei Personen angesehen, die mehr als einmal aufgetretene gesundheitliche Beschwerden auf elektromagnetische Felder (EMF) zurückgeführt haben. In einer repräsentativen Telefonbefragung wurden 2.406 Personen befragt. Daraus ergab sich eine Prävalenz von 6 % „Elektrosensiblen“. Von diesen 144 „Elektrosensiblen“ haben sich wiederum nur ca. 28 Personen selbst als elektrosensibel bezeichnet und somit das Kriterium erfüllt, das den meisten publizierten Studien zugrunde liegt. Die Prävalenz selbstdefinierter „Elektrosensibler“ betrug 1,1 %. Außer hinsichtlich des Bildungsstandes ergaben sich bei den identifizierten 144 „Elektrosensiblen“ keine weiteren soziodemografischen Unterschiede zur Allgemeinbevölkerung. „Elektrosensibilität“ im Sinne der gewählten Definition erwies sich als vielgestaltiges und für die Befragten ambivalentes Thema und nicht als feststehendes und isoliertes Faktum.

Insgesamt haben die Studien des DMF die Annahme einer kausalen Beziehung zwischen elektromagnetischen Feldern und Gesundheitsbeschwerden nicht bestätigt. Trotz unterschiedlicher Zielgruppendefinition und -rekrutierung kann in der Zusammenschau mit der internationalen Literatur der Schluss gezogen werden, dass „Elektrosensibilität“ mit großer Wahrscheinlichkeit nicht existiert. Weitere Forschung sollte daher in einem Themenkreis außerhalb der EMF-Forschung erfolgen.

2.3. Schlafqualität

Die Frage, ob die Schlafqualität durch elektromagnetische Felder negativ beeinflusst werden könnte, wurde in drei Studien (B5, B19, B20) untersucht. Das Forschungsprojekt B5 verwendete ein neues Studiendesign: Die Probanden konnten in ihrer häuslichen Umgebung verbleiben. Die von ihnen als schlafstörend angesehenen hochfrequenten Felder wurden entweder durch Baldachine aus elektrisch leitfähigem Gewebe abgeschirmt oder es wurde eine Abschirmung durch Verwendung äußerlich identischer, aber wirkungsloser Stoffe lediglich vorgetäuscht. Dieses Vorgehen ist als besonderer experimenteller Vorteil zu werten, da dadurch ein möglicher Einfluss der oft als artifiziell empfundenen Laborumgebung auf die Ergebnisse vermieden werden konnte. Bei insgesamt 43 Probanden wurde der Schlaf während insgesamt 10 Nächten (1 Eingewöhnungsnacht, jeweils 3 zufällig verteilte Nächte unter unabgeschirmter Kontrollbedingung, vorgetäuschter und tatsächlicher Abschirmung) durch subjektive und objektive Parameter erfasst. Generell ließ sich feststellen, dass bei der überwiegenden Anzahl der Probanden die subjektive Überzeugung widerlegt werden konnte, dass „Elektromog“ an den Schlafstörungen schuld sei. Bei einem überwiegenden Anteil von 26 Probanden (59 %) ließen sich keinerlei statistisch signifikante Unterschiede der Schlafparameter unter den einzelnen Bedingungen nachweisen. Bei einigen Probanden (32 %)

³ *Forschungsprojekt R3: Ulmer, S., Bruse, M.: Ergänzende Informationen über Elektrosensible*

zeigten sich statistisch signifikante Verbesserungen der subjektiv empfundenen Schlafqualität auch unter nicht wirksamen Abschirmungen (Placebo-Effekt). Bei 9 % der Probanden führte die Abschirmung nicht zu von ihnen erhofften Schlafverbesserung, sondern zu einer statistisch signifikanten Verlängerung von Einschlafzeiten.

Das Projekt B19⁴ sollte klären, ob elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen die Gehirnaktivität beeinflussen können. Im Gegensatz zur Abschirmung von Feldern wurde die Reaktion auf die zusätzliche Exposition untersucht. Insgesamt 30 gesunde männliche Probanden wurden mittels am Kopf befestigter Antennen einer wirklichen oder einer vorgetäuschten Exposition ausgesetzt, wobei sowohl GSM- als auch UMTS-Handysignale verwendet wurden. Am Tag wurden das Spontan-EEG, evozierte und ereigniskorrelierte EEG-Potentiale und kognitive Funktionen untersucht. Zusätzlich wurde das Schlaf-EEG ausgewertet. Von den insgesamt 361 untersuchten Parametern zeigten lediglich 5 (unter UMTS-Exposition) statistisch signifikante Veränderungen. Diese Anzahl ist geringer als die erwarteten 18 zufälligen Signifikanzen, die aufgrund des gewählten Signifikanzniveaus für paarweises Testen ($p < 0,05$) zu erwarten wären. Durchweg zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Tageszeit bei kognitiven Fähigkeiten, der weitaus ausgeprägter war als die unter Exposition sporadisch gefundenen Schwankungen. Im Rahmen dieser sehr sorgfältig durchgeführten Studie konnten die teilweise in der Literatur berichteten positiven Befunde nicht bestätigt werden.

Eine weitere Studie (B20⁵) über die potenzielle Beeinflussung der Schlafqualität durch die Emissionen von Mobilfunk-Sendeanlagen ist noch nicht abgeschlossen.

Insgesamt konnten durch die DMF-Studien bisherige Berichte über eine gesundheitsrelevante Beeinflussung der Schlafqualität, eine Beeinträchtigung kognitiver Fähigkeiten oder von Veränderungen im EEG durch Mobilfunkfelder nicht bestätigt werden; für eine abschließende Beurteilung der DMF-Projekte zu diesem Themenkreis ist jedoch das Vorliegen der noch ausstehenden Forschungsarbeiten erforderlich.

2.4. Einflüsse auf Sinnesorgane

2.4.1 Ohr

Zu möglichen Einflüssen von Mobilfunkfeldern auf das Hörorgan liegen 2 abgeschlossene Studien vor. Im experimentellen Ansatz wurde im Projekt B11⁶ untersucht, ob

⁴ *Forschungsprojekt B19: Danker-Hopfe, H., Dorn, H., Sauter, C., Bahr, A., Bolz, Th.: Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen*

⁵ *Forschungsprojekt B20: Danker-Hopfe, H., Dorn, H.: Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen (nicht abgeschlossen)*

⁶ *Forschungsprojekt B11: Knipper, M.: Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)*

Mobilfunkfelder mit dem Auftreten von Phantomgeräuschen („Tinnitus“) verbunden sein könnten. Es wurden drei Gruppen von Ratten untersucht, die konditioniert worden waren, Tinnitus mit einer objektiv erfassbaren Verhaltensänderung anzuzeigen: Exponierte und scheinexponierte Tiere sowie Positivkontrollen. Bei den Positivkontrollen wurde Tinnitus durch Medikamente hervorgerufen. Nach eingehender Testung der Versuchsdurchführung mit Hilfe der Positivkontrollen wurde die Gruppe der exponierten Tiere mit Hilfe eines speziell entwickelten Antennensystems GSM-Handysignalen bis zu 20 W/kg, also dem Zehnfachen des Basisgrenzwertes für Teilkörperexposition, ausgesetzt. Über eine Expositionsdauer von 4 Wochen konnten zwischen schein- und tatsächlich exponierten Gruppen selbst bei der höchsten Exposition keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Ergänzt wurden diese Experimente durch molekularbiologische Untersuchungen, bei denen die Aktivität einer Reihe von Genen, die am Hörvorgang beteiligt sind, unmittelbar nach der vierwöchigen Exposition und nach einer weiteren zweiwöchigen Erholungsphase erfasst wurde. Zwischen exponierten und scheinexponierten Tieren konnten auch hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Im Projekt B18⁷ wurde in aus Mäusen isolierten Hörschnecken („Cochlea“) die Aktivität von Sinneszellen und der Ionenkanäle der Zellmembran mit der experimentell aufwändigen „Patch-Clamp“-Technik untersucht. Es wurden GSM-900-, GSM-1800- und UMTS-Handysignale mit SAR-Werten von 0,02, 0,2, 2 und 20 W/kg, also bis zum Zehnfachen des lokalen Basisgrenzwertes, appliziert. Die Temperatur der Zellproben schwankte um maximal $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Bei insgesamt 36 statistischen Tests waren 31 nicht signifikant. Von den 5 signifikanten Ergebnissen wurde eines durch einen singulären statistischen Ausreißerwert verursacht. Die verbleibenden 4 signifikanten Ergebnisse waren über unterschiedliche Zielgrößen und Expositionsstärken verteilt und ließen sich keinem systematischen Zusammenhang zuordnen. Insgesamt kann daher auch hier geschlossen werden, dass die Aktivität von Neuronen des Hörsystems bei Nagern durch Mobilfunkfelder im Rahmen der Grenzwerte nicht beeinflusst wird.

2.4.2 Auge

Potenzielle Auswirkungen der Mobilfunknutzung auf das Auge wurden im Projekt B12⁸ untersucht. Die Untersuchungen wurden *in vitro* an isolierten Mäuse-Netzhautpräparaten durchgeführt, die sich in einer temperierten Nährlösung befanden. Die Untersuchungsbedingungen waren Exposition der Präparate mit den Handysignalen der Systeme GSM-900, GSM-1800 und UMTS mit Absorptionsraten von 0,02, 0,2, 2 und 20 W/kg sowie Scheinexposition. Durch extrazelluläre Ableitungen mit Glaselektroden wurde die elektrische Aktivität (Nervenimpulse) der Ganglienzellen der Netzhaut als Antwort auf Lichtreize verschiedener Intensität gemessen. Bei 1.344 statistischen Tests pro Frequenzband

⁷ *Forschungsprojekt B18: Münkner, S., Vonthein, R., Engel, J.: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem*

⁸ *Forschungsprojekt B12: Ammermüller, J.: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System*

ergaben sich bei GSM-Exposition jeweils 8 und bei UMTS-Exposition 13 signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$), es war jedoch keine systematische Abhängigkeit von der Expositionstärke festzustellen. Alle beobachteten Effekte lagen im physiologischen Normalbereich. Die multivariate statistische Analyse ergab einen signifikanten thermisch erklärbaren Einfluss der Parameterkombination Mobilfunkexposition und Lichtintensität, der aufgrund der technischen Grenzen der Temperaturregulation der Proben nicht verhindert werden konnte.

2.5. Zelluläre Wechselwirkungsmechanismen

In drei Forschungsvorhaben wurde versucht, zelluläre Mechanismen für mögliche Wirkungen von Mobilfunkfeldern aufzuklären. Im Projekt B1⁹ wurde untersucht, ob es durch hochfrequente elektromagnetische Mobilfunkfelder zu einer Verringerung der Melatoninsynthese der für die Melatoninproduktion verantwortlichen Pinealdrüse und damit zum Absinken des Melatoninspiegels im Körper kommt („Melatonin-Hypothese“). Es ist bekannt, dass sichtbares Licht einen derartigen Effekt bewirkt. Dafür konnten auch die verantwortlichen Rezeptoren identifiziert werden. Falls auch elektromagnetische Felder diese Wirkung hätten, könnte dies Auswirkungen auf das Schlafverhalten, das durch Melatonin reguliert wird, und auf die Kanzerogenese haben, da Melatonin ein Radikalfängermolekül ist. Bei Reduktion seiner Konzentration könnte somit die kanzerogene Wirkung körpereigener radikalischer Molekülararten verstärkt werden. In dem Vorhaben wurde die Beeinflussung der Melatoninproduktion in stimulierten isolierten Pinealdrüsen des Hamsters durch un gepulste elektromagnetische Wellen und gepulste GSM-Handysignale bei Expositionen mit SAR-Werten von 0,008, 0,08, 0,8 und 2,7 W/kg untersucht. Im Vergleich zu den Kontrollen ergaben sich bei un gepulsten Feldern mit zunehmenden SAR-Werten steigende Melatoninwerte, die ab 0,8 und 2,7 W/kg statistisch signifikant wurden. Bei Exposition gegenüber gepulsten Feldern konnte bis zu 0,08 W/kg keine Veränderung festgestellt werden, bei 0,8 W/kg zeigte sich eine statistisch signifikante Erhöhung ($p < 0,05$) und bei 2,7 W/kg eine statistisch signifikante Erniedrigung der Melatoninproduktion. Aufgrund der Versuchsbedingungen kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Effekte bei höheren SAR-Werten durch Temperaturerhöhungen verursacht wurden. Es muss auch offen bleiben, inwieweit die Resultate an isolierten Hamsterorganen auf den Menschen übertragen werden können, da hier auch systemische Unterschiede eine Rolle spielen könnten. In Hamstern konnten jedoch auch diese ausgeschlossen werden (Lerchl et al. 2007). Insgesamt haben die Ergebnisse die Melatoninhypothese nicht bestätigt.

Das Forschungsprojekt B6¹⁰ verfolgte das Ziel festzustellen, ob die Möglichkeit besteht, dass Zellmembranen niederfrequent gepulste Mikrowellen demodulieren könnten, sodass die Pulsung eine besondere Wirkung entfalten könnte. Dazu sollte die subzelluläre elektrische

⁹ *Forschungsprojekt B1: Lerchl, A.: Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse*

¹⁰ *Forschungsprojekt B6: Gimsa, J.: Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. A. Demodulation/Kommunikation*

Feldverteilung unter Berücksichtigung der molekularen Struktur an und in der Zellmembran modelliert und experimentell überprüft werden. Darüber hinaus sollten die möglichen Auswirkungen von auf subzellulärer Ebene beobachteten Effekten auf die neuronale Kommunikation durch elektrophysiologische Messungen an kortikalen Nervenzellen mit einem interessanten neuen experimentellen Ansatz untersucht werden. Dieser besteht in der Entwicklung sogenannter „Neuronensensorchips“, bei denen Zellen auf miniaturisierten elektronischen Schaltkreisen wachsen, wodurch auftretende elektrophysiologische Signale unmittelbar verarbeitet und selbst während der Exposition aufgenommen werden können. Wegen technischer Schwierigkeiten bei der Umsetzung der Methodik konnten jedoch keine belastbaren Ergebnisse erreicht werden. Mit hochauflösenden Modellen wurde zusätzlich die lokale Feldabsorption durch Zellmembranen numerisch untersucht. Es wurden 10fache lokale Überhöhungen festgestellt.

Im Forschungsprojekt B7¹¹ wurden potenzielle Wirkungen auf das Immunsystem untersucht, indem immunrelevante Zellen (primäre humane Monozyten und primäre humane Lymphozyten) unmodulierten Hochfrequenzfeldern und GSM-Handysignalen verschiedener Modulationsformen (217 Hz-gepulst, mit und ohne DTX) mit SAR-Werten von 0,5, 1, 1,5, 2 und teilweise 5 und 10 W/kg exponiert und auf Veränderungen zytologischer Parameter wie Apoptosehäufigkeit, Veränderungen der Zellzyklusprogression und der Produktion von reaktiven Sauerstoffverbindungen (ROS) untersucht wurden. Signifikante Veränderungen der genannten zellulären Parameter zu scheinexponierten Proben wurden – auch bei Expositionen über den Grenzwert hinaus – in keiner der untersuchten Zellarten festgestellt. Es ergaben sich allerdings Unterschiede zwischen scheinexponierten Proben und nicht exponierten Inkubatorcontrollen. Dieser nicht zu erwartende Befund ist eingehend zu untersuchen. Er stellt nicht nur die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes, sondern auch der Arbeiten anderer Forschungsgruppen in Frage, die die gleiche Versuchsanordnung verwendet haben und rechtfertigt es diese kritisch zu hinterfragen.

Wenn auch die Mehrzahl der bisher publizierten Arbeiten bei Expositionen unterhalb der Grenzwerte keine ausreichend gesicherten signifikanten Effekte belegen und positive Resultate nicht unabhängig bestätigt werden konnten, ist eine weitere Klärung vor dem Vorliegen der Berichte über die noch nicht abgeschlossenen Projekte nicht möglich.

2.6. Kanzerogenität

Eine im Jahr 1997 veröffentlichte Arbeit (Repacholi et al. 1997) an gentechnisch veränderten Mäusen mit so erzeugter hoher spontaner Lymphomrate gab Anlass zu der Vermutung, dass Hochfrequenzfelder die Tumorpromotion begünstigen könnten. Zwei Projekte haben diese Frage aufgegriffen (B3¹² und B4¹³). In sehr aufwändigen Experimenten unter sorgfältig

¹¹ *Forschungsprojekt B7: Simkó, M.: Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen*

¹² *Forschungsprojekt B3: Lerchl, A.: Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder*

kontrollierten Expositionsbedingungen mit großen Tierkollektiven (160 Tiere pro Versuchsgruppe) ergab sich, dass bei ununterbrochener Dauorexposition gegenüber 900 MHz-GSM-Signalen (Projekt B3) und gegenüber UMTS-Signalen (Projekt B4) (jeweils bei 0,4 W/kg) zwischen scheinexponierten und tatsächlich exponierten Tieren weder bezüglich der Leukämierate noch in Bezug auf den zeitlichen Verlauf des Auftretens der Krankheit signifikante Unterschiede festzustellen waren. Auch andere Arbeiten, die zur unabhängigen Replikation der Ergebnisse von Repacholi et al. durchgeführt wurden, konnten bisher die Hypothese nicht bestätigen, dass chronische Exposition gegenüber Mobilfunkfeldern Krebserkrankungen des blutbildenden Systems (Leukämie) fördern könnte. Diese Hypothese wird daher durch die vorliegenden Arbeiten des DMF weiter entkräftet.

2.7. Langzeiteffekte

2.7.1 Mehr-Generationen-Studie

In experimentell aufwändigen Untersuchungen des Projektes B22¹⁴ wurden insgesamt vier Generationen von Mäusen jeweils lebenslang mit UMTS-Signalen und SAR-Werten von 0,08, 0,4 und 1,3 W/kg exponiert. Untersucht wurden neben dem allgemeinen Gesundheitszustand der Tiere Gewicht und Wachstum, Fortpflanzungsfähigkeit, Hinweise auf Missbildungen verursachende (teratogene) Effekte sowie Entwicklungsparameter. Insgesamt ergaben sich keine Hinweise auf negative Effekte der Hochfrequenz (HF)-Exposition auf Prozesse der Fortpflanzung und der Entwicklung in vier aufeinanderfolgenden Tiergenerationen, die während der gesamten Untersuchungszeit durchgehend exponiert waren.

2.7.2 Altersabhängige Wirkungen, speziell bei Kindern

Der Frage nach besonderen Empfindlichkeiten von Kindern wurde in den Studien B2¹⁵ und B22 nachgegangen. In der Laborstudie B22 wurden Versuchstiere über mehrere Generationen, (daher auch bereits als Fötus) kontinuierlich gegenüber UMTS-Felder exponiert. Es ergaben sich auch bei lebenslanger Exposition keine Hinweise auf negative Effekte auf die Fortpflanzung und die embryonale und kindliche Entwicklung. Diese Studie konnte daher nicht bestätigen, dass eine besondere Empfindlichkeit in frühen Altersstadien vorliegt. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit der Diskussion über eine mögliche besondere Sensibilität von Kindern wichtig.

In einer Machbarkeitsstudie (B2) ergab die Literaturrecherche, dass die Frage nach einer möglichen altersabhängigen Wirkung hochfrequenter Felder und besonderen Vulnerabilität von Kindern noch offen ist. Sie kommt zum Schluss, dass Projekte mit dosimetrischer

¹³ *Forschungsprojekt B4: Lerchl, A.: In vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese*

¹⁴ *Forschungsprojekt B22: Lerchl, A.: Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen*

¹⁵ *Forschungsprojekt B2: Schmid, G., Pipal, L., Widhalm, K., Tschabitscher, M.: Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter*

Ausrichtung favorisiert werden sollten, obwohl auch biologische und epidemiologische Studien als machbar erachtet werden. Die im Jahr 2004 abgeschlossene Studie war eine wichtige Orientierungshilfe für die weitere Prioritätensetzung im DMF. In der Zwischenzeit sind einige neue dosimetrische Arbeiten erschienen (Christ und Kuster 2005, Conil et al. 2008), auch auf die SSK-Stellungnahme „Mobilfunk und Kinder“ (SSK 2006) ist hinzuweisen.

3 Themenbereich Epidemiologie

Im Rahmen des Themenbereichs „Epidemiologie“ sind bisher 5 von 9 Studien abgeschlossen worden. Folgende Einzelthemen wurden bearbeitet:

- Machbarkeit einer Kohortenstudie an hochexponierten Berufsgruppen (E1)
- Beteiligung an der RIFA-Fall-Kontrollstudie zu Aderhautmelanomen (E2)
- Prospektive Kohortenstudie zur Handynutzung (E3)
- Erweiterung des deutschen Teils der INTERPHONE-Studie (E4)
- Querschnittsstudie zur Erfassung gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Mobilfunkbasisstationen (E5)

Die Machbarkeitsstudie E1¹⁶ hatte zum Ziel zu untersuchen, ob anhand hochexponierter (Berufs-) Gruppen die Frage eines erhöhten Erkrankungsrisikos durch die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern untersucht werden könnte. Das Ergebnis war, dass keine geeignete Gruppe identifiziert werden konnte, die eine ausreichend große Kohorte für eine prospektive oder retrospektive Studie bilden würde, weil z. B. die tatsächlich erhöhte Exposition fraglich oder nicht ausreichend eindeutig wäre, zu viele nicht kontrollierbare Einflussgrößen vorhanden wären und die Übertragbarkeit eines Ergebnisses auf Mobilfunkexpositionen fragwürdig wäre.

Im Projekt E3¹⁷ sollte untersucht werden, ob auch in Deutschland eine prospektive Kohortenstudie zur Untersuchung von potenziellen gesundheitlichen Langzeitwirkungen der Mobilfunknutzung nach den internationalen Studiendesign-Vorgaben der COSMOS-Studie (cohort study on mobile phone use and health) durchführbar wäre. Das Ergebnis war, dass dies zwar grundsätzlich möglich wäre, dass jedoch wegen der sehr geringen Teilnahmebereitschaft unrealistisch viele Handynutzer kontaktiert werden müssten, um eine ausreichende Beteiligung zu gewährleisten. Die Machbarkeitsstudie lieferte jedoch wertvolle Hinweise und Gründe dafür, wo die Grenzen epidemiologischer Verfahren liegen und haben zur Entscheidungsfindung über das weitere Vorgehen wesentlich beigetragen.

¹⁶ *Forschungsprojekt E1: Blettner, M. et al., Wahrendorf, J., Schüz, J. et al., Schroeder, E. et al.: Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hochexponierter (Berufs-)Gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisiko durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen*

¹⁷ *Forschungsprojekt E3: Blettner, M., Schüz, J., Böhler, E., Budinger, M., Brömmel, M.: Machbarkeitsstudie für prospektive Kohortenstudie zu Handynutzung*

Das Projekt E2¹⁸ betrifft die Frage der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse einer national erweiterten internationalen Fall-Kontrollstudie zu Aderhautmelanomen (Uvealmelanomen) und Radiofrequenzstrahlung. Im Rahmen des DMF konnte die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierte RIFA-Studie relevant erweitert werden. Ziel der Gesamtstudie war es zu prüfen, ob der im Jahr 2001 publizierte Hinweis auf ein erhöhtes Augentumorrisiko durch Hochfrequenzstrahlung erhärtet werden könne. Dabei konnten 458 Fälle und 1.210 Kontrollen erfasst und mit Hilfe von Fragebögen befragt werden. Damit liegt die derzeit weltweit größte Fall-Kontrollstudie zu Uvealmelanomen vor. Die statistische Auswertung war nicht Gegenstand des Projektes und liegt noch nicht vor. Die Studie über Risikofaktoren für Aderhautmelanome (RIFA-Studie) ist ein Beispiel dafür, dass die nationale Erweiterung zu einer umfassenden Folgestudie geeignet sein kann, den sich aus einer relativ kleinen Population ergebenden Anfangsverdacht zu bestätigen oder zu widerlegen. Studien, die an relativ kleinen Populationen durchgeführt worden sind, haben nur wenig Aussagekraft. Die breitere Datenbasis bezüglich Aderhautmelanomen liefert nun eine solidere Grundlage für Schlussfolgerungen.

Das Projekt E4¹⁹ stellt die Erweiterung der ursprünglichen deutschen Beteiligung an der INTERPHONE-Studie dar. Damit konnte Deutschland im Vergleich zu den übrigen 16 Teilnehmerländern mit den meisten Tumorfällen und Kontrollen zur Gesamtstudie beitragen. Darüber hinaus konnte mit dem deutschen Beitrag auch die Exposition gegenüber Schnurlostelefonen und deren Basisstationen (DECT) mit einbezogen werden. Das Projekt E4 ergab keinen Hinweis auf ein erhöhtes Risiko für die untersuchten Hirntumorarten bei weniger als 10 Jahren Nutzung. Bei mehr als 10 Jahren Nutzung ergaben sich keine eindeutigen Hinweise auf ein erhöhtes Risiko, aufgrund der kleineren Fallzahlen konnte dieses aber auch nicht ausgeschlossen werden. Es konnten damit die nationalen Ergebnisse früherer Studien (Hardell-Gruppe) aus Schweden (mit niedrigeren Fallzahlen) nicht bestätigt werden. Es ergaben sich auch keine Hinweise auf ein erhöhtes Risiko bei Personen, die ihre DECT-Basisstation ans Bett gestellt hatten und auch kein Hinweis auf eine gegenseitig verstärkende Wirkung bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Wellen von Handys und ionisierender Strahlung. Für eine bessere Beurteilung ist die Gesamtschau aller nationalen Ergebnisse der INTERPHONE-Studie erforderlich.

Das Projekt E8²⁰ sollte mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Felder von Mobilfunk-Basisstationen untersuchen. Von den angeschriebenen 51.444 Personen beteiligten sich 58,4 % (30.047) an der Befragung über die Einstellung zum Mobilfunk und dessen

¹⁸ *Forschungsprojekt E2: Stang, A., Schmidt-Pokrzywniak, A., Jöckel, K-H.: Beteiligung an einer internationalen Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)*

¹⁹ *Forschungsprojekt E4: Schüz, J., Schlehofer, B., Berg, G., Schläefer, K., Blettner, M.: Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhanges zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereichs (INTERPHONE-Studie).*

²⁰ *Forschungsprojekt E8: Berg, G. et al., Blettner, M. et al., Schlehofer, B. et al., Potthoff, P. et al., Schüz, J.: Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunk-Basisstationen*

potenziellen gesundheitlichen Risiken wie Schlafstörungen, Kopfschmerzen, anderen körperlichen Beschwerden und Lebensqualität. In der bisher vorliegenden Zwischenauswertung zeigte sich ein Nord-Süd-Gefälle mit nach Süden zunehmender Besorgnis. Häufiger besorgt und/oder gesundheitlich beeinträchtigt fühlten sich vor allem Personen im Alter zwischen 30 und 50 Jahren, mit höherer Schulbildung und bei größerer Nähe zur Mobilbasisfunkstation. Allerdings zeigte es sich, dass die Nähe zur Basisstation kein geeignetes Maß für die tatsächliche Exposition war. Das Endergebnis der Studie mit den Verknüpfungen mit gemessenen bzw. mit einem verbesserten Schätzmodell abgeschätzten Immissionen liegt noch nicht vor.

Epidemiologische Untersuchungen über potenzielle Langzeitwirkungen der Handynutzung haben bisher aufgrund der noch relativ kurzen Dauer der Handynutzung eingeschränkte Aussagekraft. Ein besonderes Problem stellen die rasche Entwicklung und schnelle Verbreitung neuer Technologien dar, die ständige Änderungen des Expositionsszenarios bewirken und die dosimetrische Zuordnung und Interpretation von Ergebnissen erheblich erschweren.

4 Themenbereich Dosimetrie

Angesichts der offenen Fragestellungen und des dynamischen Ausbaus der Mobilfunknetze lag der Schwerpunkt der vergebenen Arbeiten auf den Mobilkommunikationstechniken GSM und UMTS.

4.1 Expositionen im Alltag

4.1.1 Sendeanlagen

Zur Expositionserfassung der Allgemeinbevölkerung im Umfeld von ortsfesten Sendeanlagen (GSM, UMTS, Rundfunk, Fernsehen, WLAN Access Points, DECT-Basisstationen) wurden geeignete Messverfahren entwickelt und Berechnungsverfahren evaluiert (D2²¹, D3²², D6²³, D10²⁴). Dies ist auch vor dem Hintergrund der notwendigen Vergleichbarkeit von Messungen z. B. unterschiedlicher Messkampagnen äußerst wichtig.

²¹ Forschungsprojekt D2: Preiner, P., Schmid, G., Lager, D., Georg, R.: Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten

²² Forschungsprojekt D3: Bornkessel, C., Schubert, M., Wuschek, M., Schmidt, P.: Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen

²³ Forschungsprojekt D6: Bornkessel, C., Schubert, M.: Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen

²⁴ Forschungsprojekt D10: Bornkessel, C., Schubert, M., Wuschek, M., Schmidt, P.: Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern

Es wurde eine große Zahl an Messungen der maximalen und durchschnittlichen Expositionen durchgeführt sowie umfangreiche Simulationen vorgenommen. Die Erhebungen zeigen, dass die Grenzwertausschöpfung selbst bei maximalen Expositionen im Prozentbereich liegt, häufig werden nur Promille oder noch geringere Werte der Leistungsflussdichte erreicht.

Darüber hinaus zeigte die Analyse der Messdaten, die allerdings nur bei einem Teil der Projekte durchgeführt wurde, dass der Abstand zur Sendeantenne als Schätzer für die vorliegende Immission nicht geeignet ist. Im Projekt D7 wurde ein Verfahren zur Schätzung von Immissionen entwickelt; in den Projekten D3 und D6 wurden Immissionen gemessen und durch Auswertung der Messwerte die Hauptstrahlrichtung und Sichtverhältnisse als wesentliche Einflussparameter herausgearbeitet.

Bezüglich der Umstellung von Analog-Fernsehen auf DVB-T wurden an identischen Messpunkten in zwei Startregionen umfangreiche Messungen des Zustandes vor und nach der Umstellung durchgeführt. Es zeigte sich, dass diese Umstellung nicht mit einer erwarteten Verringerung der Exposition verbunden ist, sondern auch eine Expositionszunahme möglich ist. Entsprechende Expositionsveränderungen können nicht pauschal verallgemeinert werden, sondern sind jeweils fallbezogen zu überprüfen.

4.1.2 Endgeräte

Die messtechnische Untersuchung der Expositionen gegenüber Emissionen von Telekommunikations-Endgeräten wie WLAN, Bluetooth-, DECT-Systeme und Babyphone (Projekt D8²⁵) hat gezeigt, dass bei körpernaher Anwendung höhere Ausschöpfungen des Teilkörper-Grenzwertes als bei Funkfeststationen festzustellen sind. Die Referenzwerte für elektrische und magnetische Feldgrößen können zwar bei einigen Endgeräten wie Handys oder Babyphonen überschritten werden. Trotzdem liegen auch diese Expositionen unterhalb der Grenzwerte für die spezifische Absorptionsrate.

Im Projekt D9²⁶ wurden die spezifischen Absorptionsraten untersucht, die während der Nutzung von Handys im Alltag auftreten. Die Untersuchung des realen Sendeverhaltens und der Leistungsregelung von GSM-Handys hat gezeigt, dass die Möglichkeiten der Leistungsabsenkung durch die Regelungsalgorithmen im Alltag nicht ausgeschöpft werden. Je nach Netzstruktur und Nutzer erreichte die Sendeleistung im Alltagsgebrauch im Mittel zwischen 10 und 70 % der maximalen Sendeleistung. Je nach Szenario senden Handys etwa zwischen 5 bis 30 % der Gesprächsdauer sogar mit maximaler Sendeleistung. Bei guter Netzversorgung ist der zeitlich gemittelte Sendeleistungspegel niedriger als bei schlechter Versorgung. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Leistungsabsenkung betreiberseitig auch deaktiviert werden kann. Bei kursorischen Messungen an UMTS-Handys wurden besonders niedrige Sendeleistungspegel und damit niedrige SAR-Werte festgestellt. Dieses Ergebnis ist

²⁵ *Forschungsprojekt D8: Schmid, G., Lager, D., Preiner, P., Überbacher, R., Neubauer, G., Cecil, S.: Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro*

²⁶ *Forschungsprojekt D9: Georg, R., Landstorfer, F.M., Jakobus, U.: Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten*

jedoch wegen des inzwischen stattgefundenen Auf- bzw. Ausbaus der Netze bzw. der gestiegenen Verkehrslast zu überprüfen.

Im Projekt D11²⁷ wurde die Expositionserhöhung untersucht, die in Räumen durch die Handynutzung auftreten kann. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass für Nichttelefonierer keine Grenzwertüberschreitung auftreten kann. Zwar können für sie Erhöhungen der Exposition um den Faktor 10 gegenüber dem der Nutzung im Freien auftreten, aber diese liegt dennoch auf sehr niedrigem Niveau. Damit wurde eine frühere theoretische Analyse nicht bestätigt, wonach in ungünstigen Raumszenarien Überschreitungen der Grenzwerte zu erwarten wären.

Für aktive Telefonierer sind die in Innenräumen möglichen Erhöhungen der SAR gegenüber der Nutzung im Freien nur moderat (jeweils maximale Sendeleistung vorausgesetzt). Sie liegen in der Größenordnung der Berechnungsunsicherheit von ca. 10-15 %. Bei Annäherung des Handys an reflektierende Metallstrukturen kann es allerdings zu deutlichen SAR-Erhöhungen um bis zu ca. 50 % im Vergleich zur Nutzung im Freien kommen.

4.1.3 Expositionsabschätzung für epidemiologische Studien

Bei der Durchführung epidemiologischer Studien besteht eine wesentliche Aufgabe darin, die Exposition einer großen Anzahl von Personen ausreichend zuverlässig zu bestimmen, um sie in verschiedene Expositionsgruppen einordnen zu können. Auch wenn in der Literatur immer wieder verwendet, herrscht Übereinstimmung, dass der Abstand zu den Basisstationen als Surrogat zur Expositionsschätzung ungeeignet ist.

Da eine umfassende messtechnische Expositionsermittlung einen erheblichen Aufwand bedeuten würde, waren im Projekt D7²⁸ insbesondere zur Anwendung im Projekt E8 andere Lösungsansätze mit hinreichender Zuverlässigkeit zu entwickeln. Das ausgearbeitete Schätzverfahren beruht auf der Berücksichtigung der technischen Daten einer Mobilfunkanlage (Sendeleistung, Sendecharakteristik), den Geokoordinaten von Anlage und Aufpunkt und der Anwendung empirischer Transmissionsfaktoren für die Wellenausbreitung in verschiedenen Siedlungsbereichen und Faktoren für das Eindringvermögen in Innenräume. Die Überprüfung anhand gemessener Daten ergab bezüglich der Leistungsflussdichte den Korrelationskoeffizienten 0,6 zwischen gemessenen und geschätzten Werten. Die Unterschiede der Leistungsflussdichten betragen typisch das 10 bis 100fache. Auch wenn dieses Verfahren für eine grobe dichotome Einteilung in exponiert / nicht exponiert anwendbar ist, stellt es keinen entscheidenden Fortschritt dar. Viel mehr Erwartungen sind in Personendosimeter zu setzen, die allerdings noch genauer untersucht werden müssen z. B. in Hinblick auf Isotropie, Genauigkeit der Anzeige insbesondere unter dem Aspekt des Tragens

²⁷ *Forschungsprojekt D11: Georg R., Schmid, G., Landstorfer, F.M.: Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien*

²⁸ *Forschungsprojekt D7: Neitzke, H.-P., Osterhoff, J., Peklo, K., Voigt, H., Wohlatz, T.: Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden*

am Körper im Vergleich zum Einsatz „ohne Körper“, Übersprechen in benachbarte Frequenzbereiche usw. Das Ergebnis einer laufenden Validierungsstudie sowie ein Vergleich mit den Ergebnissen des britischen Mobilfunk-Forschungsprogramms sollten weitere Erkenntnisse liefern.

4.2 Ermittlung intrakorporaler SAR-Verteilungen

Sowohl für die Objektivierung der Exposition bei der Durchführung von Studien als auch zum Vergleich mit SAR-Basisgrenzwerten ist die Kenntnis der intrakorporalen Verteilung der spezifischen Absorptionsrate unverzichtbar geworden.

Da eine Vergleichbarkeit von Tierexperimenten (zwischen Tieren gleicher Art) nur bei gleicher organspezifischer Dosis sinnvoll ist und der Ganzkörper-SAR-Wert hier zu wenig aussagekräftig ist, wurde im Projekt D1²⁹ mit Hilfe numerischer inhomogener anatomischer Modelle die Exposition im Körper von Versuchstieren ermittelt und mit Messungen an Tierkadavern validiert. Untersuchungen an mit HF-exponierten Versuchstieren im Frequenzbereich von 450 MHz bis 5 GHz haben phänomenologische Einsichten hinsichtlich Abhängigkeit der Absorptionsverteilung von Lage, Polarisation und Frequenz erbracht. Es konnten Hinweise für die Konzeption von Expositionseinrichtungen erarbeitet sowie hoch aufgelöste Tiermodelle zur Verfügung gestellt werden. Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die Durchführung von Tierversuchen und die Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen.

Das Projekt D5³⁰ befasste sich mit der quantitativen Untersuchung der lokalen Exposition gegenüber den Emissionen von am Körper getragenen Feldquellen durch Ermittlung der SAR Verteilung und Abschätzung der Gewebeerwärmung. Es wurde der bereits länger bekannte Umstand aufgezeigt, dass in geschichteten Medien insbesondere bei Resonanz Hotspots auftreten. Damit konnte gezeigt werden, dass die derzeitige Typprüfung mit einem homogenen Flachphantom nicht bei allen Frequenzen konservativ genug ist. Darüber hinaus konnten die von verschiedenen Endgeräten (Walkie Talkie, GSM-, UMTS-Handy, WLAN) verursachten Temperaturerhöhungen berechnet werden. Sie reichten bis zu 0,8°C bei Berücksichtigung der konvektiven Wärmeabgabe und stiegen im unrealistisch ungünstigsten Fall der vollständigen Vernachlässigung der Wärmeabgabe auf 2,5 bis 3,5°C in der Haut.

Im Projekt D4³¹ wurden die spezifische Absorption und die Temperaturerhöhungen in empfindlichen Organen innerhalb des menschlichen Kopfes wie Auge, Innenohr und Pinealdrüse unter Berücksichtigung kleiner Strukturen untersucht. Durch feinere

²⁹ *Forschungsprojekt D1: Fröhlich, J., Torres, V.B., Klingeböck, A., Nikoloski, N., Kuster, N.: Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren*

³⁰ *Forschungsprojekt D5: Christ, A., Klingeböck, A., Samaras, T., Neufeld, E., Kuster, N.: Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich*

³¹ *Forschungsprojekt D4: Schmid, G., Überbacher, R., Preiner, P., Samaras, T., Mazal, P., Jappel, A., Baumgartner, W.D., Tschabitscher, M.: Bestimmung der Expositionsverteilung von HF-Feldern im menschlichen Körper unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter*

Diskretisierung (mit Volumenelementen mit 0,1mm Kantenlänge) ergaben sich gegenüber früheren Simulationen mit größeren Auflösungen keine grundsätzlich höheren Ergebnisse. In keinem Fall trat bei der Nutzung von Mobiltelefonen eine Erwärmung der inneren Organe um mehr als 0,1°C auf. Lediglich bei der Nutzung unmittelbar vor die Augen gehaltener sendestarker Handfunkgeräte im 400 MHz-Bereich wurden Erwärmungen bis zu 1°C ermittelt.

5 Themenbereich Risikokommunikation

Im DMF wurden zum Themenbereich Risikokommunikation 7 Arbeiten vergeben. Zwei der Arbeiten zielen auf die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung praktischer Kommunikationswerkzeuge ab. Im Projekt R1³² ging es um ein Internetportal, dessen Kernstück eine wissensbasierte Datenbank der empirischen Forschungsarbeiten zu elektromagnetischen Feldern ist. Aufbauend auf der bestehenden wissensbasierten Literaturdatenbank (WBLDB) wurde in Form eines neuen EMF-Portals ein auf die breite Öffentlichkeit abgestimmtes Informationsangebot in deutscher Sprache erstellt und mit der WBLDB verknüpft. Das Internetportal hilft, Zugang zur EMF-Literatur zu finden und sich dadurch rasch und ohne großen Suchaufwand über den Stand des Wissens über die biologischen und gesundheitlichen Wirkungen der EMF des Mobilfunks zu informieren. Das Projekt ist ein Ansatz zur besseren Information, sozialwissenschaftliche Fragen der „Risikokommunikationsforschung“ standen nicht im Mittelpunkt. Es finden sich jedoch Ansätze für eine begleitende Analyse des Nutzerverhaltens und der Nutzerbewertung. Die eingebundene Nutzerumfrage ist zwar positiv, aber aufgrund der kleinen Fallzahl schwer zu interpretieren. In Zukunft wäre eine systematische Nutzerevaluation zu empfehlen. Aufgrund seines großen praktischen Nutzens sollte das Projekt - möglichst ergänzt durch begleitende Analysen- unbedingt fortgeführt werden.

Im Projekt R6³³ wurde ein internet-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem für Kommunen erstellt, in denen Standorte für Basisstationen geplant werden. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Information der Bürger auch in Konfliktsituationen gewahrt wird. Ausgehend vom Ampel-Modell der Mobile Operators Association (MOA) (2001) wurde ein Informations- und Entscheidungshilfe-System für die Kommunen entwickelt. Ausgangspunkt der MOA war die Überlegung, dass jeder Standort seine kommunikationsspezifischen Eigenheiten hat, die die Anpassung der Kommunikationsbedürfnisse und -angebote erfordern. Mit Hilfe zweier Bewertungskategorien, nämlich Gemeinschaftsaspekte und Planungs- und Umweltaspekte, wird die Standortsituation durch eine der Ampelfarben charakterisiert. Die erforderliche Beratungsintensität nimmt dabei von Grün nach Rot zu. Im Projekt R6 wurde im Unterschied

³² *Forschungsprojektprojekt R1: Wienert, R., Dechent, D., Silny, J.: Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkung elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate*

³³ *Forschungsprojekt R6: Ulmer, F., Hiller, S., Renn, O.: Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen*

zu MOA davon ausgegangen, dass mit dem Ansteigen der Konfliktintensität angemessene Konfliktlösungen vor allem Partizipationsansätze erfordern.

Methodisch basiert das Projekt auf Fallstudien, zu denen Interviews geführt und Medienanalysen herangezogen wurden, um Kriterien für die Ampelfarben-Einordnung zu gewinnen. Der Ansatz ist interessant; ob er aber den Kommunen eine bessere Orientierung bietet, ist offen, weil es bislang noch keine belastbaren empirischen Untersuchungen gibt, die zeigen, welche Merkmale zur Prognose von Standortkonflikten beim Mobilfunk herangezogen werden könnten. Die Fallanalysen des Projektes, die zur Entwicklung des Modells genutzt wurden, können nicht gleichzeitig zur Evaluation des Modells verwendet werden.

Das gleiche Problem ergibt sich auch auf der Lösungsseite: Welche Verfahren sich zur Konfliktprävention eignen, ist unklar. Dies liegt daran, dass es einerseits zu wenige Studien gibt, die methodischen Qualitätsstandards genügen und sich außerdem auch auf den Bereich der Standortfindung für Basisstationen beziehen. Es wäre wünschenswert, wenn hier weitere Forschung eine solide empirische Basis generieren würde.

Das Projekt R7³⁴ hatte zum Ziel, dialogische Kommunikationsstrategien für die Vermeidung von Konflikten bei der Standortplanung von Basisstationen zu entwickeln. Es stellt eine qualitative Fallstudie dar, die zweifelsohne einen explorativen Wert hat, aber aufgrund ihrer methodischen Beschränkungen kaum belastbare Aussagen für die dialogische Lösung von Standortkonflikten für den Mobilfunk bietet.

Das Projekt R5³⁵ sollte durch bundesweit repräsentative Telefonumfragen für den Zeitraum von 2003-2006 Daten zu den Befürchtungen und Ängsten hinsichtlich möglicher Gefahren von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks erheben. Bei den Ergebnissen fällt auf, dass sich in der Bevölkerung das Niveau der Besorgnis während des Untersuchungszeitraums konstant bei etwa 30% hält. Vergleicht man jedoch die Ergebnisse verschiedener Studien, ergeben sich je nach Frageformat beträchtliche Differenzen. Es zeigt sich, dass Mobilfunkmasten bedrohlicher eingeschätzt werden als Handys. Insgesamt wird jedoch dem Mobilfunk im Vergleich zu anderen Technologien und Schadstoffen ein geringerer Besorgnisgrad zugemessen. Bemerkenswert ist auch, dass immerhin 73 % der Befragten, die gesundheitliche Probleme durch EMF für möglich halten, auch Krebs als Folge des Mobilfunks für wahrscheinlich halten. Da im Gegensatz zum Bericht des Projektes R5 im Bericht des Projektes R4 Informationen zur Auswahlverfahren der Stichprobengenerierung fehlen, ist über die Repräsentativität der Befunde von R5 kein Urteil möglich.

³⁴ *Forschungsprojekt R7: Hoffmann, A.: Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21*

³⁵ *Forschungsprojekt R5: Belz, J.: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen.*

Zwei Projekte befassten sich mit Zielgruppenanalysen (R2³⁶, R4³⁷). Das Projekt R2 beruht auf einer repräsentativen Umfrage und einer darauf aufbauenden Clusteranalyse. Genaue Daten zur Stichprobenausschöpfung und zur Stichprobencharakterisierung sind jedoch im Bericht nicht zu finden. Demzufolge lassen sich auch keine genauen Angaben zur Repräsentativität der Ergebnisse machen. Die Konzeption zur Clusteranalyse ist durchdacht. Kritisch ist allerdings, dass keine näheren Angaben zu der durchgeführten Clusteranalyse gemacht werden. Somit ist die Güte/ Angemessenheit der darauf aufbauenden Segmentierung der Zielgruppen nicht bewertbar.

Das Projekt R4 befasste sich außer mit der Zielgruppenanalyse noch mit der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk. Die Studie kommt zu einer etwas anderen Clusterung. Deutlich ist die Differenz in der Schätzung der Gruppengröße der Besorgten im Vergleich zur Studie R2. Allerdings ist die Transparenz der Darstellung nicht immer ausreichend: So ist die Stichprobenziehung nicht ausreichend beschrieben. Es gibt keine nähere Information über die Vorgehensweise bei der postalischen Befragung; keine Information, ob bei der Telefonumfrage das Design der Arbeitsgemeinschaft deutscher Marktforschungsinstitute (ADM-Design) mit Generierung einer dreistufigen Zufallsstichprobe gewählt wurde, es finden sich z. B. keine Angaben, wie die Zielperson im Haushalt bei der telefonischen Umfrage gewählt wurde. Auch ist nicht feststellbar, ob und wie die Daten gewichtet wurden. Die angegebene Ausschöpfung von zirka 20 % ist niedrig. Die Aussage, es läge eine repräsentative Befragung vor, ist zu bezweifeln. Zudem ist es schwierig, auf der Basis von Risikoeinschätzungen praktisch relevante Zielgruppen zu bilden, die über die Frage der Ansprechbarkeit für Risikokommunikation hinausgehen. Die Gruppe der „Unsicheren“ ist offenbar für die Art und den Kontext der Informationsdarstellung (Framing-Effekt) und damit auch den Absender der Information über das Risiko am empfänglichsten. Außerdem zeigte sich in der Studie R2, dass die Frage nach Informationswünschen (ein wesentlicher Aspekt der Zielgruppensegmentierung) kaum Unterschiede zwischen den Gruppen (bis auf die Gruppe der desinteressierten Vielnutzer) ergibt.

Das Projekt R4 enthält auch Analysen von Kommunikationseffekten, die für die Risikokommunikation von besonderer Bedeutung sind, da sich daraus unmittelbar Aufschlüsse für Inhalte und Design der Kommunikation ergeben. Im Mittelpunkt standen dabei drei Fragen: Welche Botschaften zu EMF erreichen die Bevölkerung, wie beeinflussen sie die Meinungsbildung und welche empirisch begründeten Handlungsanweisungen lassen sich zur Verbesserung der Risikokommunikation geben? Zur Untersuchung wenden die Autoren verschiedene Methoden an: Ein erzählendes (narratives) Review der vorhandenen Studien zu EMF-Risikoperzeption, eine Metaanalyse, Inhaltsanalysen zu den Botschaften der

³⁶ *Forschungsprojekt R2: Büllingen, F., Hillebrand, A.: Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information über Mobilfunk und Gesundheit*

³⁷ *Forschungsprojekt R4: Renn, O., Pfenning, U., Ruddat, M., Sautter, M.A., Ulmer, F.: Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen*

verschiedenen Akteure zum Mobilfunk, Fokusgruppen sowie eine Umfrage. Die Analysen zu Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Botschaften von Industrie, Mobilfunkgegnern, Politik und Wissenschaft werden in Abhängigkeit von der Einstellung zum Mobilfunk unterschiedlich bewertet.
- Tendenziell stimmen die Unsicheren den entwarnenden Botschaften eher zu als warnenden Botschaften.
- Wissenslücken der Bevölkerung zum Thema Mobilfunk und Gesundheit sind z.T. erheblich.

Das Projekt R3 widmete sich der Identifizierung und Charakterisierung von „Elektrosensiblen“. Es wurde bereits im Abschnitt „Elektrosensibilität“ besprochen.

6 Zusammenfassende Bewertung

In der vorliegenden Stellungnahme bewertet die SSK die zwischenzeitlich abgeschlossenen Forschungsprojekte auf Basis der 36 vorliegenden Abschlussberichte aus wissenschaftlicher Sicht in Hinblick auf die Eignung der ausgewählten Forschungsthemen, die wissenschaftliche Qualität der durchgeführten Arbeiten, den erzielten Erkenntnisgewinn zur Bewertung der gesundheitlichen Aspekte der Exposition durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks und von Fragestellungen, die noch offen geblieben sind oder die sich durch die zwischenzeitliche Entwicklung des internationalen Wissensstandes neu ergeben haben.

Insgesamt zeigen die vorliegenden Projektberichte auch nach Bewertung der Gutachter, dass die durchgeführten Forschungsprojekte überwiegend ein hohes wissenschaftliches Niveau aufweisen.

6.1 Ursprüngliche Fragestellung

In ihrer Stellungnahme aus dem Jahr 2001 hat die Strahlenschutzkommission im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Feldern Forschungsbedarf zu folgenden Themenbereichen festgestellt:

- potenzielle krebsinitiierende und/oder krebspromovierende Wirkung durch in-vitro und in-vivo-Experimente,
- Existenz relevanter nicht-thermischer Wechselwirkungen mit verbessertem Untersuchungsaufbau und Analysetechnik,
- Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke und von Zellmembranen einschließlich potenzieller Permeabilitätsänderungen für Kalziumionen,
- neurophysiologische und kognitive Prozesse,
- potenzielle Effekte chronischer Exposition auf Blutparameter, Immunsystem, Reproduktion und Entwicklung,

- verbesserte Dosimetrie zur Abklärung parasitärer Temperatureffekte in Laborstudien,
- multinationale epidemiologische Studien zur Untersuchung potenzieller Erhöhungen von Hirntumorrisiken durch Handynutzung.

Das DMF hatte diese Empfehlungen aufgegriffen. Angesichts der thematischen Vielfalt wurde eine notwendige und sinnvolle Konkretisierung vorgenommen und die Thematik durch Studien zur „Elektrosensibilität“ und Risikowahrnehmung und –kommunikation erweitert. Die Themenwahl war aus damaliger Sicht sinnvoll und zielführend. Sie kann auch im Rückblick als richtig angesehen werden, wenngleich im Detail einige kritische Anmerkungen hinzuzufügen sind. Die Projekte betreffen relevante Fragestellungen und leisten wertvolle Beiträge zum Erkenntnisgewinn.

6.2 Erkenntnisgewinn

Zu Beginn des DMF lagen in manchen Fragestellungen teilweise widersprüchliche Forschungsergebnisse vor. Die Durchführung von Forschungsprojekten mit einem auf dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung befindlichen Studiendesign war daher im DMF eine wesentliche Motivation zur Vergabe von Projekten. Die SSK hatte bereits im Jahr 2001 in ihrer Empfehlung zu Grenzwerten und Vorsorgemaßnahmen zur Bewertung des Wissensstandes (SSK 2001) festgestellt, dass für einen belastbaren wissenschaftlichen Nachweis die Reproduzierbarkeit durch unabhängige Gruppen und Kausalität der Zusammenhänge gefordert werden müssen. Aus der Sicht des Strahlenschutzes war daher nicht zu erwarten, dass einzelne Forschungsprojekte allein selbst bei herausragender Qualität nicht in der Lage sein können, eine komplexe biologische Fragestellung abschließend zu klären. Daher ist es verständlich, wenn trotz des DMF in einigen Bereichen noch Forschungsbedarf gegeben bleibt. Die durchgeführten Projekte haben jedoch wesentlich dazu beigetragen, die am Beginn des DMF bestehenden Unsicherheiten zu verringern, und damalige Hinweise und Verdachtslagen auf mögliche Risiken besser bewerten zu können.

6.2.1 Biologie

6.2.1.1 Elektrosensibilität

Die durchgeführten Studien haben insgesamt die Hypothese nicht erhärten können, dass es „Elektrosensibilität“ im Sinne einer wesentlich erhöhten Empfindlichkeit oder Wahrnehmungsfähigkeit der untersuchten Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern gibt. Es konnten auch keine Belege gefunden werden, dass im Alltag auftretende elektromagnetische Felder mit unspezifischen Gesundheitsbeschwerden kausal verknüpft sind.

Es muss allerdings angemerkt werden, dass in den drei durchgeführten Studien der Untersuchungsgegenstand, nämlich „Elektrosensibilität“ nicht ausreichend klar und übereinstimmend festgelegt wurde. Eigendefinitionen der Befragten reichen von subjektiven Annahmen, diese nicht näher spezifizierte Eigenschaft zu besitzen, ohne Gesundheitsbeschwerden zu entwickeln, bis zu Fällen, die unter schwer beeinträchtigenden

Symptomen leiden. Darüber hinaus sind die angewendeten Rekrutierungsstrategien entweder unzureichend beschrieben oder nicht geeignet, um auf eine repräsentative Stichprobe der betroffenen Personengruppe schließen lassen zu können. Aufgrund dieser inhärenten Schwierigkeiten sind die Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt.

Das sich in der Bearbeitung befindende Vorhaben B13³⁸ soll zusätzliche Aufschlüsse über die mögliche Verbindung zu psychosomatischen Faktoren bringen. Insgesamt haben die Studien des DMF die Annahme einer kausalen Beziehung zwischen elektromagnetischen Feldern und Gesundheitsbeschwerden nicht bestätigt. Trotz unterschiedlicher Zielgruppendefinition und -rekrutierung kann in der Zusammenschau mit der internationalen Literatur der Schluss gezogen werden, dass „Elektrosensibilität“ mit großer Wahrscheinlichkeit nicht existiert. Weitere Forschung sollte daher in einem Themenkreis außerhalb der EMF-Forschung erfolgen.

6.2.1.2 Laborstudien

Die eingehenden Untersuchungen an Sinnesorganen bzw. deren essentiellen Bestandteilen konnten weder bezüglich des visuellen noch des akustischen Systems signifikante Beeinflussungen belegen. Es konnte auch keine kausale Verbindung der Mobilfunknutzung mit dem Auftreten von Tinnitus festgestellt werden.

Untersuchungen über lebenslange Expositionen haben keine Hinweise auf Auswirkungen auf die fötale und kindliche Entwicklung ergeben. Eine verbesserte Beurteilung zur Frage nach einer besonderen Sensibilität von Kindern erfordert noch weitere Forschungsarbeiten und das Schließen von aufgezeigten Erkenntnislücken. Dazu sind verbesserte anatomische Modelle von Kindern verschiedener Altersstufen und altersspezifische Gewebeparameter erforderlich. Es muss abgewartet werden, welchen ergänzenden Beitrag das noch laufende Projekt B17³⁹ liefern wird.

Die im DMF erarbeiteten Resultate geben keinen Hinweis auf zelluläre Wirkungen von EMF, die zu Krebsentstehung führen oder beitragen könnten. Das vermutete vermehrte Auftreten reaktiver Sauerstoffradikale (ROS) konnte in Zellen des Immunsystems nicht bestätigt werden. Ergänzungen auf dem Gebiet der genotoxischen Effekte werden nach dem Abschluss noch laufender Projekte erwartet. Es wäre noch zu klären, ob berichtete unterschiedliche Wirkungen zwischen gepulster GSM-Exposition und ungepulster CW-Exposition ein Zufallsergebnis oder auf pulsungsspezifische thermische Effekte zurückzuführen sind.

³⁸ *Forschungsprojekt B13: Dahmen, N.: Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien (nicht abgeschlossen)*

³⁹ *Forschungsprojekt B17: Kuster, N. et al.: Untersuchungen zu altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter (nicht abgeschlossen)*

Die Untersuchungen einzelner Neurone oder artifizierlicher neuronaler Netze mit einem neuartigen Untersuchungsdesign haben die Erwartungen nicht erfüllt. Sie führten wegen technischer Schwierigkeiten zu keinen verwertbaren Resultaten in Hinblick auf potenzielle nicht-thermische Wirkungsmechanismen. Die mit hochauflösenden Modellen an Zellmembranen festgestellte 10fache lokale Überhöhung der spezifischen Absorptionsrate hat Aspekte der Mikrodosimetrie aufgezeigt, die weiter zu verfolgen sein werden. (Der Ausschuss „Nichtionisierende Strahlung“ der SSK hat bereits im Jahr 2007 eine Arbeitsgruppe ‚Mikrodosimetrie‘ eingesetzt.)

Die groß angelegten und mehrere Generationen umfassenden Studien an Labornagern zur chronischen Exposition gegenüber Mobilfunkfeldern haben sowohl bezüglich potenzieller Kanzerogenität als auch Fortpflanzung und Entwicklung keine statistisch signifikanten Effekte gezeigt. Das Projekt zur Langzeitexposition B9⁴⁰ soll weitere Ergebnisse liefern.

Generell kann festgestellt werden, dass die innerhalb des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms initiierten und geförderten Projekte im Themenbereich Biologie wichtige Erkenntnisfortschritte erbracht haben, die die wissenschaftlich fundierte Basis für die Einschätzung möglicher Risiken der Mobilfunktechnologie wesentlich erweitern. Die bisherigen Ergebnisse haben Befürchtungen über gesundheitsschädigende Wirkungen von Mobilfunkfeldern selbst bei chronischer Exposition nicht gestützt.

Eine Gesamtwürdigung des DMF ist jedoch erst möglich, wenn auch die noch laufenden Vorhaben abgeschlossen sind.

6.2.2 Epidemiologie

Die Machbarkeitsstudien über epidemiologische Kohortenstudien lieferten wertvolle Hinweise und Gründe dafür, wo die Grenzen epidemiologischer Verfahren liegen und haben zur Entscheidungsfindung über das weitere Vorgehen wesentlich beigetragen.

Der deutsche Beitrag zur INTERPHONE-Studie ergab für keine der untersuchten Hirntumorarten ein erhöhtes Risiko bei weniger als 10 Jahren Nutzung, kann aber wegen der unzureichenden Datenlage ein erhöhtes Risiko bei noch längerer Nutzung nicht ausschließen. Es konnte kein erhöhtes Krebsrisiko bei Verwendung von DECT-Basisstation festgestellt werden. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Handynutzung und dem Auftreten von Aderhautmelanomen beobachtet.

Die umfangreiche Befragung über die Einstellung zum Mobilfunk und dessen potenziellen gesundheitlichen Risiken zeigte eine Korrelation der Befürchtungen mit der Nähe zur Basisstation, also einem Parameter, von dem anhand von Messungen gezeigt werden konnte, dass er mit den wahren Expositionsverhältnissen unzureichend korreliert ist. Die gemessenen Feldstärken waren hingegen mit keiner der erfragten gesundheitlichen Beschwerden

⁴⁰ *Forschungsprojekt B9: Forschungsverbund EMVU der TU/LMU München: In vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen (nicht abgeschlossen)*

assoziiert. Insgesamt haben die epidemiologischen Studien des DMF die Befürchtungen über Risiken einer chronischen Exposition nicht bestätigt, auch wenn sie aufgrund der noch begrenzten Zeiträume der Handynutzung nur eingeschränkte Aussagekraft besitzen.

6.2.3 Dosimetrie

Im Rahmen des DMF konnten geeignete Messverfahren für maximale und durchschnittliche Immissionserfassung entwickelt und validiert werden. Es hat sich bestätigt, dass der laterale Abstand zum Sender als Schätzer für die vorliegende Immission nicht geeignet ist. Selbst verbesserte Ansätze unter Berücksichtigung der Orientierung zur Hauptstrahlrichtung und der direkten Sichtverbindung erwiesen sich allenfalls für eine dichotome Zuordnung in Exponierte und nicht Exponierte anwendbar. Dies hat die Bedeutung der Expositionserfassung mit Personendosimetern unterstrichen.

Darüber hinaus haben die dosimetrischen Untersuchungen zur Bestimmung der Exposition von Versuchstieren wichtige Grundlagen für die Konzeption von Expositionseinrichtungen und die Vergleichbarkeit von Tierexperimenten (Tiere gleicher Art) auf Basis organspezifischer Expositionen geliefert.

Zur Expositionserfassung der Allgemeinbevölkerung im Umfeld von ortsfesten Sendeanlagen (GSM, UMTS, Rundfunk, Fernsehen, WLAN Access Points, DECT-Basisstationen) wurden geeignete Messverfahren entwickelt und Berechnungsverfahren evaluiert. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der notwendigen Vergleichbarkeit von Messungen äußerst wichtig. Die Grenzwertausschöpfung durch die Leistungsflussdichte lag maximal im Prozentbereich, häufig wurden nur Werte im oder unterhalb des Promillebereichs gefunden.

Die dosimetrischen Studien haben gezeigt, dass bei körpernaher Anwendung von einigen Handys und Babyphonen die Referenzwerte überschritten werden können. Die Leistungsminimierung von Handys (DTX-Betrieb) erwies sich als von Netzstruktur und Betreiber abhängig. Es hat sich gezeigt, dass sie betreiberseitig wesentlich eingeschränkt sein kann. Untersuchungen in teilgeschirmten Räumen haben gezeigt, dass der Pegel der Umgebungsstrahlung durch Handynutzung um den Faktor 10 gegenüber der Situation im Freien erhöht werden kann, dass jedoch die 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, widerlegt werden. Lediglich bei Annäherung des Handys an reflektierende Metallstrukturen kann es für Telefonierer zu SAR-Erhöhungen um bis zu ca. 50 % im Vergleich zur Nutzung im Freien kommen.

Es ist anzumerken, dass die Projekte unterschiedlich gute Qualität aufwiesen. So wurden z. B. Berechnungen der spezifischen Absorptionsrate bei Expositionen im Alltag nur qualitativ und nur für ein einziges Mobilfunkgerät validiert und bei Messungen die Abhängigkeit vom Telefontyp nicht untersucht. Die Berechnung der Immission in teilgeschirmten Räumen ist als sehr gut zu werten, die Messungen erfolgten aber zu wenig systematisch und sind nicht nachvollziehbar beschrieben.

Das 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, wie ursprünglich erwartet, mit einer Verringerung der Exposition, sondern auch mit Erhöhungen verbunden sein kann.

Insgesamt konnten im Rahmen der dosimetrischen Studien wichtige Grundlagen für die verbesserte Durchführung von Tierexperimenten und für die Erfassung der Immissionen im Alltag und für epidemiologische Studien erarbeitet werden. Es hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, die Entwicklung der Immissionen durch neue Technologien in der Umwelt messtechnisch zu überwachen. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die gleichzeitige Exposition durch mehrere Quellen zu berücksichtigen ist. Damit wurde die Empfehlung der SSK bekräftigt, dass einzelne Quellen nicht den gesamten Expositionsspielraum in Anspruch nehmen sollten (SSK 2007).

6.2.4 Risikokommunikation

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. Dabei zeigten sich die Basisstationen und nicht das Handy als dominierender Faktor für die Risikoeinschätzung des Mobilfunks. Der Mobilfunk erwies sich allerdings für die Öffentlichkeit als keine Besorgnis ersten Ranges.

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 Wirkungen von EMF, für die Information über Vorsorge und Unsicherheit als auch in Teilen für das Konfliktmanagement. Hierzu gibt es kaum gesichertes Wissen. Werkzeuge der Risikokommunikation wie das EMF-Portal, das internet-basierte Entscheidungsunterstützungssystem oder das Mobilfunk-Forschungsprogramm selbst sind zwar wesentliche Elemente einer Risikokommunikation. Auch wenn diese Elemente für die Risikokommunikation plausibel sind, ist die Wertigkeit dieser Werkzeuge ohne strikte Evaluation bei aller anzunehmenden großen Nützlichkeit bisher nicht belegt.

6.3 Offene Fragen und Forschungsbedarf

Die biologischen Untersuchungen des DMF haben in wesentlichen Fragestellungen wichtige Beiträge zur Klärung gebracht. Nicht-thermische Effekte konnten nicht nachgewiesen werden. Untersuchungen zu nicht-thermischen Wechselwirkungsmodellen bleiben weiterhin aktuell, insbesondere in Hinblick auf potenzielle genotoxische Effekte.

Während für die gesundheitliche Bewertung akuter Expositionen aus biologischer Sicht bereits vielfältiges Datenmaterial vorliegt, ist für die Bewertung länger anhaltender bis lebenslanger Expositionen noch Forschungsbedarf gegeben, der besonders in Hinblick auf potenzielle Langzeiteffekte zu sehen ist. Dazu sind auch weitere Arbeiten über potenzielle

genotoxische Effekte und die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Tierversuchen auf den Menschen erforderlich. Ebenso fehlen weiterhin biologische Ergebnisse zur Festlegung eines geeigneten Expositionsmaßes bei zeitlich variierenden und räumlich inhomogenen Expositionen sowie tolerierbare Temperaturänderungen und Änderungsgeschwindigkeiten. Offene Fragen ergeben sich auch bezüglich der Exposition von Föten und Kindern sowie potenzieller Auswirkungen auf Kognition, Befindlichkeit und Schlaf.

Epidemiologische Untersuchungen zu potenziellen Langzeitwirkungen haben bisher aufgrund der noch relativ kurzen Zeiträume der Handynutzung eingeschränkte Aussagekraft. Zur gesundheitlichen Bewertung können sie auch weiterhin sinnvoll sein, wobei die evidenzbasierte Auswahl biologischer Endpunkte die Belastbarkeit der Ergebnisse erhöhen würde. Ein besonderes Problem der Untersuchung langer Zeiträume stellen jedoch die rasche Entwicklung und schnelle Verbreitung neuer Technologien dar, die ständige Änderungen des Expositionsszenarios bewirken und die dosimetrische Zuordnung und Interpretation von Ergebnissen erheblich erschweren. Schwierig zu klärende Fragen stellen Befindlichkeitsstörungen dar, die von Betroffenen auf Mobilfunkeinflüsse zurückgeführt werden. Die Epidemiologie kann dabei zwar Hilfestellungen geben, aber es wird erforderlich sein, zur Klärung auch hypothesenbasierte und experimentelle Untersuchungsansätze und Strategien anzuwenden.

Ob noch weitere Untersuchungen zum Hirntumorrisiko vorgenommen werden sollten, sollte erst nach Publikation und Bewertung der Gesamt-INTERPHONE-Studie entschieden werden. Studien unter Einbeziehung von Kindern, z. B. in multinationalen prospektiven Kohortenstudien, könnten einen wichtigen Beitrag zur gesundheitlichen Bewertung erbringen, erfordern jedoch eine verbesserte Expositionserfassung und die Klärung, wie über einen längeren Zeitraum sich ändernde Expositionsszenarien, -quellen und -felder bei der Ermittlung der Expositionsgruppen und des Risikoschätzers zu berücksichtigen wären.

Das DMF hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, die Evaluierung der Exposition durch neue Technologien wie z. B. TETRA, LTE, 4G, DVB-H, Femto-Zellen, RF-ID, Technikbegleitend durchzuführen. Auf diese Weise können zeitnah Informationen über Technik und Exposition in die Risikobewertungen einfließen. Offen ist nach wie vor, welche Immissionsgröße (z. B. räumlicher und/oder zeitlicher Mittelwert oder Maximalwert) ermittelt werden sollte, sowie die Erfassung und Bewertung der Exposition in inhomogenen und quellnahen Feldern. Zur Expositionsbestimmung durch numerische Simulation sind anatomische Modelle für Schwangere verschiedenen Schwangerschaftsstadiums und für Kinder(köpfe) verschiedenen Alters sowie hochauflösende Modelle für höhere Frequenzen zu entwickeln.

Angesichts höherer Frequenzen, feiner auflösender Modelle und jüngerer Exponierter sind die Größe und die Form des Teilkörpervolumens zu hinterfragen, über das die spezifische Absorptionsrate ermittelt (gemittelt) wird. Eine wichtige Herausforderung stellt die realitätsnahe Berechnung der Temperaturerhöhung als biologisch relevantere Größe zur Risikoabschätzung dar. Zur belastbareren Expositionsabschätzung für epidemiologische

Studien sollten Personendosimeter weiter entwickelt und unter Berücksichtigung verschiedener Quellen- und Positionierungsarten validiert werden.

Die Risikokommunikationsforschung sollte in Zukunft nicht nur auf Umfragen und qualitativ-explorativen Forschungsansätzen beruhen, sondern stärker hypothesengeleitet sein und auch experimentelle Ansätze nutzen. Neben der Risikowahrnehmung sollte die Risikokommunikation selbst in den Mittelpunkt gerückt werden und die vorhandenen Wissenslücken sollten geschlossen werden, die sich in folgenden Fragen charakterisieren lassen:

- Welche Faktoren können zu einer Eskalation der Risikowahrnehmung führen?
- Welche Wirkungen hat die Kommunikation über Unsicherheit und Vorsorge?
- Welche Bürgerbeteiligungsstrategien sind unter welchen Bedingungen erfolgreich?
- Wie kommuniziert man im Kontext widersprüchlicher Informationen und Meinungen?

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Insgesamt hat das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm 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.

Auch wenn eine endgültige Bewertung des DMF erst nach Vorliegen der noch in Bearbeitung befindlichen Studien möglich ist, zeigen die bisherigen Ergebnisse, 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 (WHO, ICNIRP) kann festgestellt werden, dass die den bestehenden Grenzwerten zugrunde liegenden Schutzkonzepte nicht in Frage gestellt sind.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist jedoch festzustellen, dass im Bereich biologischer Wechselwirkungen ein einziges Forschungsprojekt allein selbst bei herausragender Qualität nicht in der Lage sein kann, eine wissenschaftliche Fragestellung endgültig zu klären. In diesem Sinn ist es verständlich, wenn trotz des Umstandes, dass die ursprünglichen Hinweise auf potenzielle gesundheitliche Wirkungen des Mobilfunks nicht bestätigt wurden, noch Forschungsbedarf gegeben 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.

Es wird Aufgabe der SSK sein, die Ergebnisse des DMF nach Vorliegen der Ergebnisse aller Projekte auch unter Einbeziehung der zwischenzeitlich erarbeiteten wissenschaftlichen

Literatur und der Ergebnisse anderer nationaler Forschungsprogramme in eine aktuelle Gesamtbewertung einzubinden.

8 Literatur

Christ, A., Kuster, N. (2005): Differences in RF Energy Absorption in the Heads of Adults and Children. *Bioelectromagnetics Supplement 7*: S31-S44

Conil, E., Hadjem, A., Lacroux, F., Wong, M. F., Wiart, J. (2008): 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.* 53, 1511–1525

Lerchl, A., Krüger, H., Niehaus, J., Streckert, J.R., Bitz, A.K., Hansen, V. (2007): Effects of mobile phone electromagnetic fields at nonthermal SAR values on melatonin and body weight of Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*). *J. Pineal Res.* 44:267-272

Mobile Operators Association (MOA) (2001): Risk Communication Handbook - 'Working with the Community'.
http://www.mobilemastinfo.com/planning/Risk_Communication_Handbookv2.pdf

Repacholi, M.H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., Harris, A.W. (1997): Lymphomas in E μ -Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields. *Radiat. Res.* 147: 631-640

Strahlenschutzkommission (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet auf der 173. Sitzung der SSK am 04.07.2001. Veröffentlicht im BAnz Nr. 224 vom 30.10.2001

Strahlenschutzkommission (2006a): Mobilfunk und Kinder. Stellungnahme der SSK. Verabschiedet auf der 213. Sitzung der SSK am 05./06.12.2006. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 61, S. 253-303. H. Hoffmann GmbH, Berlin (2007)

Strahlenschutzkommission (2006b): Wirkung hochfrequenter Felder auf das Genom: Genotoxizität und Genregulation. Stellungnahme der SSK. Verabschiedet auf der 213. Sitzung der SSK am 05./06.12.2006. Veröffentlicht im BAnz Nr. 135a vom 24.07.2007

Strahlenschutzkommission (2007): Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen. Verabschiedet auf der 214. Sitzung der SSK am 23.02.2007. Veröffentlicht im BAnz Nr. 127 vom 12.07.2007

Abkürzungsverzeichnis

4G	Fourth Generation
ADM	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Marktforschungsinstitute
AKR/J-Mäuse	Genetisch veränderter Mausstamm, der eine hohe spontane Leukämierate aufweist. Es handelt sich um ein anerkanntes Tiermodell für menschliche Leukämien, das in der Krebsforschung eingesetzt wird.
Analog-TV	Analog-Fernsehen
BfS	<u>B</u> undesamt für <u>S</u> trahlenschutz
BMU	<u>B</u> undes <u>m</u> inisterium für <u>U</u> mwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
COSMOS-Studie	Cohort study on mobile phone use and health
CW	<u>C</u> ontinuous <u>W</u> ave (Sinuswelle)
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DFG	<u>D</u> eutsche <u>F</u> orschungsgemeinschaft
DMF	<u>D</u> eutsches <u>M</u> obilfunk- <u>F</u> orschungsprogramm
DTX	Discontinuous Transmission, Handy-Übertragungsmodus in GSM-Netzen, bei dem während der Sprechpausen die Datenübertragung unterbrochen wird.
DVB-H	<u>D</u> igital <u>V</u> ideo <u>B</u> roadcasting for Handheld <u>T</u> erminals
DVB-T	<u>T</u> errestrial <u>D</u> igital <u>V</u> ideo <u>B</u> roadcasting
EEG	<u>E</u> lektroenzephalogramm
EMF	<u>E</u> lektro <u>m</u> agnetisches <u>F</u> eld
GSM	<u>G</u> lobal <u>S</u> ystem for <u>M</u> obile Communications
HF	<u>H</u> och <u>f</u> requenz
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)
INTERPHONE-Studie	Internationale Fall-Kontrollstudie zum Hirntumorrisiko der Handynutzung

LTE	<u>L</u> ong- <u>T</u> erm <u>E</u> volution
MOA	<u>M</u> obile <u>O</u> perators <u>A</u> ssociation
RFID	<u>R</u> adio <u>F</u> requency <u>I</u> dentification
RIFA-Studie	Fall-Kontrollstudie zum Aderhautmelanom-Risiko
ROS	<u>R</u> eactive <u>O</u> xygen <u>S</u> pecies (reaktive Sauerstoffverbindungen)
SAR	<u>S</u> pezifische <u>A</u> bsorption <u>s</u> rate
SSK	<u>S</u> trahlung <u>s</u> chutz <u>k</u> ommission
TETRA	<u>T</u> errestrial <u>T</u> runked <u>R</u> adio
TMS	<u>T</u> ranscranialer <u>M</u> agnet <u>s</u> timulation
UMTS	<u>U</u> niversal <u>M</u> obile <u>T</u> elecommunication <u>S</u> ystem
W	<u>W</u> att (Einheit der Leistung)
WBLDB	<u>W</u> issensbasierte <u>L</u> iteratur <u>d</u> aten <u>b</u> ank
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

Liste der DMF-Forschungsprojekte (Stand: 07. Mai 2008)

B I O L O G I E	
Abgeschlossene Projekte	
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
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
B14	Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
B18	Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane A. Das Hörsystem
B19	Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen.
B22	Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen

BIOLOGIE	
Vergebene Projekte	
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
B13	Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
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
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

DOSIMETRIE	
Abgeschlossene Projekte	
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 thermophysiological 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

DOSIMETRIE	
Vergebene Projekte	
D12	Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien 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

Weiteres Projekt

Bestimmung der Exposition durch Ultra Wideband Technologien

E P I D E M I O L O G I E	
Abgeschlossene Projekte	
E1	Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hochexponierter (Berufs)gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisiko 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)
E8	Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen

E P I D E M I O L O G I E	
Vergebene Projekte	
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
E9	Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern

Weiteres Projekt

Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie zu Basisstationen

R I S I K O K O M M U N I K A T I O N	
Abgeschlossene Projekte	
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

Anhang ‚Grenzwerte‘

veröffentlicht in: *Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“, Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 29 (2001)*

Auszüge aus der Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder (bis 300 GHz)“ und der ICNIRP-„Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)“, veröffentlicht in *Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 23 (1999)*:

Für die Begrenzung der Exposition durch elektromagnetische Felder muss zwischen Basisgrenzwerten und abgeleiteten Grenzwerten (Referenzwerten) unterschieden werden.

– *Basisgrenzwerte*

Grenzwerte der Exposition durch elektromagnetische Felder, die auf gesicherten Schwellenwerten der unmittelbar im Gewebe wirksamen physikalischen Einflussgrößen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren beruhen, werden als „Basisgrenzwerte“ bezeichnet. Je nach den Frequenzen der Felder sind die wirksamen physikalischen Größen die elektrische Feldstärke bzw. die zugehörige Stromdichte und die spezifische Energieabsorptionsrate im Gewebe. Jedoch können bei exponierten Personen nur die Feldstärken bzw. die Leistungsflussdichte in Luft, außerhalb des Körpers, ohne weiteres gemessen werden.

– *Abgeleitete Grenzwerte*

Da die Verfahren zur Überprüfung der Einhaltung der Basisgrenzwerte zu aufwendig sind, werden zur Expositionsbeurteilung „abgeleitete Grenzwerte“ eingeführt. Zu ihrer Formulierung werden unmittelbar messbare Größen verwendet, die in der Umgebung des Menschen ermittelt werden können. Einige abgeleitete Grenzwerte sind aus den entsprechenden Basisgrenzwerten unter Nutzung von Messverfahren und/oder Berechnungsverfahren hergeleitet worden, wobei häufig ungünstige Expositionsbedingungen ("worst case") angenommen werden, die zu einer konservativen Abschätzung führen. Andere beziehen sich auf die Wahrnehmung und auf schädliche indirekte Wirkungen der Exposition durch elektromagnetische Felder.

Die abgeleiteten Größen sind: elektrische Feldstärke, magnetische Flussdichte und Leistungsflussdichte außerhalb des Körpers sowie die im Körper fließenden Ströme.

Die Einhaltung des abgeleiteten Grenzwerts bedeutet in jedem Falle die Einhaltung des entsprechenden Basisgrenzwerts. Übersteigt der gemessene oder berechnete Wert den abgeleiteten Grenzwert, so folgt daraus nicht unbedingt, dass auch der Basisgrenzwert überschritten wird. Allerdings ist es immer dann, wenn ein abgeleiteter Grenzwert überschritten wird, erforderlich, die Übereinstimmung mit dem relevanten Basisgrenzwert zu prüfen und festzustellen, ob zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Neben einer ausführlichen Dokumentation über die Basisgrenzwerte sowie die abgeleiteten Grenzwerte kontinuierlicher Sinusfelder enthält die Empfehlung noch Begrenzungen für eine gepulste Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder, abgeleitete Grenzwerte für Kontaktströme, die bei Berührung leitfähiger Objekte unter Feldeinfluss auftreten können,

sowie Hinweise für die Risikobewertung bei gleichzeitiger Exposition durch Felder mit verschiedenen Frequenzen.

Die Grenzwertempfehlungen beziehen sich nicht direkt auf Vorschriften für die Begrenzung der Emission technischer Geräte. Sie behandeln auch keine Techniken, wie Methoden zur Messung oder Berechnung physikalischer Größen, die elektromagnetische Felder charakterisieren; eingehende Beschreibungen messtechnischer Ausrüstungen und Messverfahren zur genauen Bestimmung solcher physikalischer Größen findet man in technischen Normen.

Die vorliegenden Grenzwertempfehlungen betreffen nicht die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten. Deren Einhaltung schließt Störungen von oder Wirkungen auf medizinische Geräte, wie Metallprothesen, Herzschrittmacher, Defibrillatoren und Cochlea-Implantate, nicht unbedingt aus. Störungen von Herzschrittmachern können bei Werten auftreten, die unterhalb der abgeleiteten Grenzwerte liegen. Festlegungen hierzu sind nicht Gegenstand dieser Empfehlungen.

Die Begrenzungen gelten ferner nicht für die medizinische Anwendung elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder.

Tabelle 3 Basisgrenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder bei Frequenzen bis zu 10 GHz bzw. zwischen 10 und 300 GHz

Frequenzbereich 0- 10 GHz ^{a)}	Stromdichte für Kopf und Rumpf (mA/m ²) (Effektivwerte)	Durchschnitt- liche Ganz- körper-SAR (W/kg)	Lokale SAR (Kopf und Rumpf) (W/kg)	Lokale SAR (Gliedermaßen) (W/kg)
bis 1 Hz	8	-	-	-
1 - 4 Hz	8/f	-	-	-
4 Hz - 1 kHz	2	-	-	-
1 - 100 kHz	f/500	-	-	-
100 kHz -10 MHz	f/500	0,08	2	4
10 MHz -10 GHz	-	0,08	2	4
Frequenzbereich 10 - 300 GHz ^{b)}	Leistungsflussdichte (W/m ²)			
	10			

^{a)} Anmerkungen:

1. f ist die Frequenz in Hertz.
2. Aufgrund der elektrischen Inhomogenität des menschlichen Körpers sollten die Stromdichten über einen Querschnitt von 1 cm² senkrecht zur Stromrichtung gemittelt werden.
3. Für Frequenzen bis 100 kHz können die Spitzenwerte für die Stromdichten erhalten werden, indem der Effektivwert mit $\sqrt{2}$ (~1,414) multipliziert wird. Für Pulse der Dauer t_p sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f=1/(2 t_p)$ ermittelt werden.
4. Für Frequenzen bis 100 kHz und für gepulste Magnetfelder können die mit den Pulsen verbundenen maximalen Stromdichten aus den Anstiegs- und Abfallzeiten sowie der maximalen Änderungsrate der magnetischen Flussdichte berechnet werden. Die induzierte Stromdichte lässt sich dann mit den entsprechenden Basisgrenzwerten vergleichen.
5. Sämtliche SAR-Werte sind über beliebige 6-Minuten-Zeitintervalle zu mitteln.
6. Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SAR-Werte beträgt 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes; die so ermittelten SAR-Maximalwerte sollten für die Expositionsermittlung verwendet werden.
7. Für Pulse der Dauer t_p sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f= 1/(2 t_p)$ ermittelt werden. Darüber hinaus wird für den Frequenzbereich von 3 bis 10 GHz und für die lokale Exposition des Kopfes ein zusätzlicher Basisgrenzwert empfohlen, um durch thermoelastische Expansion bedingte Höreffekte einzuschränken oder zu vermeiden. Danach sollte die SA bei gepulsten Expositionen 10 mJ/kg bei Beschäftigten und 2 mJ/kg für die Normalbevölkerung nicht überschreiten, gemittelt über je 10 g Gewebe.
8. Die Basisgrenzwerte für die Stromdichte sollen akute Wirkungen im zentralnervösen Gewebe in Kopf und Rumpf vermeiden. In anderen Körpergeweben können bei entsprechender Exposition höhere Stromdichtewerte auftreten.

^{b)} Anmerkungen:

1. Leistungsflussdichten sind über eine beliebige Teilfläche von 20 cm² der exponierten Fläche und über einen $68/f^{1,05}$ -minütigen Zeitraum (wobei f in GHz anzugeben ist) zu mitteln, um die mit steigender Frequenz geringer werdenden Eindringtiefen auszugleichen.
2. Räumliche Maximal-Leistungsflussdichten, gemittelt über 1 cm², sollten das 20-fache der obigen Werte nicht überschreiten.

Tabelle 4 Referenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder (ungestörte Effektivwerte)^a

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke (V m ⁻¹)	Magnetische Feldstärke (A m ⁻¹)	B-Feld (μT)	Äquivalente Leistungsdichte bei ebenen Wellen S _{eq} (W m ⁻²)
bis 1 Hz	—	3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	—
1-8 Hz	10 000	3,2 x 10 ⁴ /f ²	4 x 10 ⁴ /f ²	—
8-25 Hz	10 000	4000/f	5000/f	—
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	—
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	—
1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	1,375f ^{1/2}	0,0037f ^{1/2}	0,0046f ^{1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

^a Anmerkungen:

1. f wie in der Frequenzbereichs-Spalte wiedergegeben.
2. Vorausgesetzt, dass die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden und schädliche indirekte Wirkungen ausgeschlossen werden können, dürfen die Werte für die Feldstärke überschritten werden.
3. Für Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 GHz sind S_{eq}, E², H² und B² über einen beliebigen 6-Minuten-Zeitraum zu mitteln.
4. Für Spitzenwerte bei Frequenzen bis 100 kHz siehe Tabelle 4, Anmerkung 3.
5. Für Spitzenwerte bei Frequenzen über 100 kHz siehe Abbildung 1 und 2. Zwischen 100 kHz und 10 MHz werden die Spitzenwerte der Feldstärken durch Interpolation zwischen dem 1,5-fachen Spitzenwert bei 100 kHz und dem 32-fachen Spitzenwert bei 10 MHz erhalten. Für Frequenzen über 10 MHz wird vorgeschlagen, dass der Spitzenwert der äquivalenten Leistungsdichte ebener Wellen, gemittelt über die Pulsdauer, das 1000-fache der S_{eq}-Grenzwerte nicht überschreitet, bzw. dass die Feldstärke das 32-fache der in der Tabelle angegebenen Feldstärken-Expositionswerte nicht überschreitet.
6. Für Frequenzen über 10 GHz sind S_{eq}, E², H² und B² über einen beliebigen 68/f^{1,05}-Minuten-Zeitraum zu mitteln (f in GHz).
7. Für Frequenzen < 1 Hz sind keine E-Feld-Werte angegeben, da es sich effektiv um statische elektrische Felder handelt. Bei den meisten Menschen wird die störende Wahrnehmung elektrischer Oberflächenladungen bei Feldstärken unter 25 kV m⁻¹ nicht auftreten. Funkenentladungen, die Stress oder Belästigungen verursachen, sollten vermieden werden.