

# **Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF)**

**Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks  
Health Risk Assessment of Mobile Communications**

**(Stand 15.05.2008)**

**Fachbereich  
Strahlenschutz und Gesundheit**



**Bundesamt für Strahlenschutz**

BfS-SG-10/08

ISSN 1611-8707

ISBN 978-3-86509-849-8

Zur Beachtung!

BfS-Berichte und -Schriften sind kostenpflichtig und werden vertrieben vom

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Bürgermeister-Smidt-Straße 74-76

D-27568 Bremerhaven

Telefon (04 71) 9 45 44 - 0

Telefax (04 71) 9 45 44 - 77

e-Mail: [info@nw-verlag.de](mailto:info@nw-verlag.de)

Salzgitter, Juni 2008

# **Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF)**

**Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks  
Health Risk Assessment of Mobile Communications**

**(Stand 15.05.2008)**

**Fachbereich  
Strahlenschutz und Gesundheit**

# **Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms**

**Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks  
(Stand 15.05.2008)**

**Fachbereich  
Strahlenschutz und Gesundheit**

# INHALT

<b>1.</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für den Strahlenschutz</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Hintergründe, Ziele und Verfahren des DMF</b> .....	<b>7</b>
2.1	Ermittlung des Forschungsbedarfs und Festlegung des Programms .....	7
2.2	Durchführung .....	8
2.3	Begleitende Maßnahmen.....	10
2.4	Verfahren zur Bewertung der Ergebnisse.....	11
<b>3.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse zu akuten Wirkungen</b> .....	<b>11</b>
3.1	Erkenntnisstand zu Beginn des DMF .....	11
3.2	Ergebnisse .....	12
3.3	Offene Fragen .....	14
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse zu Wirkmechanismen</b> .....	<b>14</b>
4.1	Erkenntnisstand zu Beginn des DMF: .....	14
4.2	Ergebnisse .....	14
4.3	Offene Fragen .....	15
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse zu chronischen Wirkungen</b> .....	<b>15</b>
5.1	Erkenntnisstand zu Beginn des DMF .....	15
5.2	Ergebnisse .....	16
5.3	Offene Fragen .....	17
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Dosimetrie</b> .....	<b>17</b>
6.1	Erkenntnisstand zu Beginn des DMF .....	17
6.2	Ergebnisse .....	17
6.3	Offene Fragen .....	19
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse zur Risikokommunikation</b> .....	<b>19</b>
7.1	Erkenntnisstand zu Beginn des DMF .....	19
7.2	Ergebnisse .....	19
7.3	Offene Fragen .....	20
<b>Anhang 1: Bewertung der Studien des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms</b> .....		<b>21</b>
(Annex 1: Minutes, German language only)		
<b>I.</b>	<b>Bewertung der Studien aus dem Bereich Biologie</b> .....	<b>21</b>
I.1.	Krebs.....	21
I.2.	Wirkungen auf Zellebene (Genotoxizität, Genexpression, Zell-Funktionen) .....	22
I.2.1	Genotoxizität .....	22
I.2.2	Genexpression.....	23
I.2.3	Zelluläre Funktionen .....	23
I.3	Pinealdrüse / Melatonin .....	24
I.4	Neurobiologie (Sinnesorgane, Kognition, EEG, Schlaf) .....	25
I.4.1	Sinnesorgane.....	25
I.4.2	Kognitive Leistungsfähigkeit .....	26

I.4.3	EEG .....	28
I.5	Altersabhängigkeit/Kinder .....	31
I.6	Blut-Hirn-Schranke.....	32
I.7.	Stressantwort und Immunsystem .....	35
I.8	Fortpflanzung und Entwicklung.....	35
I.9	Elektrosensibilität .....	37
I.9.1	Ausgangslage, Beschwerden der Betroffenen und Expositionsquellen.....	37
I.9.2	Ursache-Wirkungs-Zusammenhang.....	37
I.9.3	Medizinische Parameter .....	38
I.9.4	Mögliche Faktoren, die zur Entstehung oder Aufrechterhaltung der Elektrosensibilität beitragen.....	39
I.9.5	Fazit aus Sicht des BfS .....	40
I.10.	Fazit Biologie .....	41
<b>II.</b>	<b>Bewertung der Studien aus dem Bereich Epidemiologie.....</b>	<b>41</b>
II.1	Akute Effekte.....	41
II.1.1	Akute Effekte bei Erwachsenen.....	42
II.1.2	Akute Gesundheitseffekte bei Kindern und Jugendlichen.....	43
II.2	Chronische Effekte.....	43
II.2.1	Studien zu Umweltexpositionen .....	44
II.2.2	Berufliche Exposition .....	45
II.2.3	Studien zur Nutzung von Mobiltelefonen.....	45
II.3	Fazit .....	48
<b>III</b>	<b>Bewertung der Studien aus dem Bereich Dosimetrie.....</b>	<b>48</b>
III.1	Expositionen im Alltag.....	49
III.1.1	Expositionen durch ortsfeste Sendeanlagen .....	49
III.1.2	Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder von Geräten .....	53
III.2	Expositionssysteme für Laborstudien .....	55
<b>IV</b>	<b>Bewertung der Studien aus dem Bereich Risikokommunikation.....</b>	<b>56</b>
IV.1	Informationsbedürfnis und Risikowahrnehmung elektromagnetischer Felder in der Öffentlichkeit... 56	56
IV.1.1	Rahmenparameter der Mobilfunk-Nutzung .....	56
IV.1.2	Wahrnehmung von Mobilfunksendeanlagen .....	57
IV.1.3	Einflüsse auf Besorgtheit.....	57
IV.1.4	Beeinträchtigung.....	57
IV.1.5	Informationsstand, Informationsverhalten .....	58
IV.1.6	Kenntnis und Anwendung von Vorsorgemaßnahmen.....	59
IV.1.7	Bekanntheit von Institutionen, Kompetenz, Glaubwürdigkeit .....	59
IV.1.8	Fazit .....	60
IV.2	Informations- und Kommunikationsmaßnahmen: Erfahrungen und Empfehlungen.....	60
IV.2.1	Zielgruppenspezifische Information über Mobilfunk und Gesundheit - Bildung von 5 Zielgruppen anhand einer Bottom Up Datenanalyse.....	60
IV.2.2	Beschreibung der Informationsbedürfnisse gegenüber Mobilfunk besorgter, unsicherer oder unbesorgter Personen .....	61
IV.2.3	Fazit .....	62
IV.3	Risikokommunikation auf der lokalen Ebene bei der Standortwahl für Mobilfunksendeanlagen .....	62
IV.3.1	Nutzung bisheriger kommunaler Erfahrungen.....	62
IV.3.2	Aufbereitung der Erkenntnisse in Form eines Ratgebers für Kommunen.....	64
IV.3.3	Fazit .....	64
IV.4	Internetinformationssystem EMF-Portal .....	64

<b>Anhang 2: Literatur .....</b>	<b>66</b>
(Annex 2: Bibliography)	
<b>Anhang 3: Forschungsprojekte des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms.....</b>	<b>77</b>
(Annex 3: Research projects DMF; German language only)	
<b>Anhang 4: Wissenschaftliche Publikationen aus dem DMF .....</b>	<b>82</b>
(Annex 4: Scientific publications from the German Mobile Telecommunication Research Programme)	

# 1. ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DEN STRAHLENSCHUTZ

Vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in den Jahren 2002 bis 2008 das erste Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) durchgeführt. Ausgangspunkt waren Hinweise auf biologische Effekte, die bei Feldstärken unterhalb der Grenzwerte beobachtet worden waren und die zur Frage Anlass gaben, ob die existierenden Grenzwerte hinreichenden Schutz vor möglichen gesundheitlichen Risiken elektromagnetischer Felder bieten. Da einige der Experimente, die solche Hinweise gefunden hatten, zum damaligen Zeitpunkt noch nicht unabhängig überprüft worden waren, bildeten Reproduktionsstudien einen wesentlichen Teil des Programms. Gleichzeitig lagen aus epidemiologischen Studien vereinzelt Hinweise auf ein erhöhtes Gesundheitsrisiko durch Mobilfunk in der Bevölkerung vor. Auch diesen Hinweisen wurde im DMF mit Hilfe epidemiologischer Studien mit verbessertem Studiendesign nachgegangen. Bei der Aufstellung des Programms wurde großer Wert auf Transparenz und öffentliche Konsultation gelegt. Bei der Konzeption des Forschungsprogramms stand interdisziplinäre Zusammenarbeit, insbesondere zwischen den naturwissenschaftlich-technischen, epidemiologischen und den experimentellen Projekten, im Fokus. Dadurch wurde der bestmögliche Transfer von technischem Know-how für die Konzeption und die Durchführung von Untersuchungen zur Wirkungsforschung sicher gestellt. Außerdem ist es gelungen, im Rahmen der Arbeiten eine Standardisierung für die technische Konzeption und die Durchführung entsprechender Untersuchungen zu erreichen. Zusätzlich zu den naturwissenschaftlich-technischen Projekten wurden im Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm erstmals auch Fragen der Risikokommunikation bearbeitet.

Mit einem finanziellen Volumen von 17 Mio. € wurden in insgesamt 54 Forschungsprojekten aus den Bereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und Risikokommunikation einschlägige Fragestellungen zu möglichen gesundheitlichen Risiken und der gesellschaftlichen Wahrnehmung hochfrequenter elektromagnetischer Felder untersucht und Fragen der Risikokommunikation nachgegangen. 50 % der Kosten wurden durch die deutschen Mobilfunknetzbetreiber getragen, die aber keine inhaltliche Einflussmöglichkeit auf das Programm hatten. Mit dem DMF konnte ein erheblicher Beitrag zu einer verbesserten Risikobewertung und Kommunikation mit der Öffentlichkeit geleistet werden.

Die Forschungsarbeiten zur Dosimetrie hatten im Wesentlichen drei Ziele: die Entwicklung von Mess- und Rechenverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung, die Ermittlung der tatsächlichen alltäglichen Exposition und die Lösung dosimetrischer Probleme bei der Exposition der Untersuchungsobjekte in den Laborstudien und der Expositionsabschätzung in epidemiologischen Studien. Es zeigte sich, dass die Exposition durch elektromagnetische Felder im Alltag erheblichen zeitlichen und räumlichen Schwankungen unterliegt. Durch die Verwendung immer neuer drahtloser Technologien nimmt die Exposition der Bevölkerung ständig zu. Dieses Ergebnis wird auch durch Messprogramme in verschiedenen Bundesländern und durch die Bundesnetzagentur bestätigt. Trotzdem liegt die Exposition der Bevölkerung in den untersuchten mobilfunkrelevanten Frequenzbereichen im Mittel viele Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte. Nur bei der Nutzung körpernaher Quellen, wie z. B. Mobiltelefone, werden Expositionswerte erreicht, die den Grenzwert zu einem großen Teil ausschöpfen können.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten im Bereich Biologie und Epidemiologie wurden mögliche akute und chronische gesundheitliche Wirkungen von Feldern des Mobilfunks untersucht.

Die an Zellkulturen durchgeführten Forschungsvorhaben zur Aufklärung möglicher Wirkungsmechanismen zielten vor allem auf den „athermischen“ Bereich unterhalb der Grenzwerte ab. Dieser Ansatz ist deshalb von zentraler Bedeutung, weil bei Kenntnis des Wirkungsmechanismus spezifische Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Organismus entdeckt und detailliert untersucht werden könnten. Betrachtet wurden verschiedene zelluläre Parameter, die sich u. a. auf hormonelle Vorgänge, den Stoffwechsel, verschiedene Funktionen sowie die Reaktion der Zellen auf äußere Einflüsse bezogen. Weiterhin wurden Effekte elektromagnetischer Felder auf das Hör- und das visuelle System untersucht.

Untersuchungen an den für das Immunsystem relevanten Zellen zeigten keinen biologisch relevanten Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die untersuchten Endpunkte. Dies gilt auch für die Untersuchungen an der Netzhaut des Auges sowie die Aktivität der Hörsinneszellen. Die sogenannte „Melatoninhypothese“, d. h. die Vermutung, dass der Melatoninspiegel durch HF-Exposition gesenkt wird, konnte nicht bestätigt werden. Insgesamt haben sich die zu Beginn des DMF diskutierten Hinweise auf mögliche „athermische“ Wirkungen nicht verdichtet. Im Einzelfall beobachtete Veränderungen der Genexpression in einem Zellkulturmodell der Blut-Hirn-Schranke stellen diese Gesamtbeurteilung nicht in Frage. Sie geben aber Anlass, in diesem Punkt eine weitere Abklärung zu empfehlen.

Akute Wirkungen wurden überwiegend in experimentellen Probandenstudien untersucht. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, ob durch hochfrequente elektromagnetische Felder der Schlaf, die kognitive Leistungsfähigkeit, das Gedächtnis oder die Verarbeitung von visuellen und akustischen Reizen beeinträchtigt wird. Dies war insgesamt nicht der Fall und wurde durch epidemiologische Studien bestätigt. Hier wurde bei Erwachsenen kein

Zusammenhang zwischen den gemessenen Feldern von Basisstationen und Schlafstörungen, Kopfschmerzen, gesundheitlichen Beschwerden allgemein sowie psychischer oder körperlicher Lebensqualität beobachtet.

Zu möglichen Wirkungen einer chronischen Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wurden tierexperimentelle Langzeitstudien zur Blut-Hirn-Schranke, zur Entstehung von Tinnitus, auf verschiedene Krebserkrankungen sowie auf Fortpflanzung und Entwicklung durchgeführt. Aus diesen Studien ergaben sich keine Hinweise auf einen „athermischen“ Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder.

Die Ergebnisse der über mehrere Generationen hinweg reichenden tierexperimentellen Studien stützen die Hypothese einer besonderen Empfindlichkeit früher Entwicklungsstadien nicht. Dennoch kann die Frage, ob das gesundheitliche Risiko durch eine Langzeitexposition für Kinder höher ist als für Erwachsene, sei es aufgrund altersabhängiger Unterschiede, sei es aufgrund der längeren Lebenszeitexposition, durch die Studien des DMF nicht abschließend beantwortet werden. Diese Fragestellung ist deshalb auch weiterhin offen und muss mittelfristig in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden.

Epidemiologische Studien zu gesundheitlichen Effekten einer chronischen Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Feldern gingen der Frage nach, ob es einen Zusammenhang zwischen Handynutzung und Hirntumoren, Akustikusneurinomen (gutartiger Tumor des Hörnervs) oder Augentumoren gibt bzw. einen Zusammenhang zwischen Kinderleukämie und Feldern von Sendeeinrichtungen. Die Studien zur Handynutzung bei Erwachsenen konnten bei einer Nutzungsdauer von weniger als 10 Jahren kein erhöhtes Risiko für einen der genannten Tumoren finden. Auch die Nutzung von schnurlosen Telefonen oder das Vorhandensein einer DECT-Basisstation im Schlafzimmer nahe am Bett war mit keinem erhöhten Hirntumorrisiko verbunden. Infolge der langen Latenzzeiten von Krebserkrankungen und der vergleichsweise kurzen Zeit der Nutzung der Mobilfunktechnik in der breiten Bevölkerung bleibt die Frage der Langzeitwirkungen über einen Zeithorizont von mehr als 10 Jahren aber weiterhin offen. Die Studie um starke Radio- und Fernsehsender zeigte kein erhöhtes Kinderleukämierisiko durch die Felder dieser Sendeeinrichtungen.

Hinsichtlich der Frage der Elektrosensibilität haben sich die Indizien verdichtet, dass kein ursächlicher Zusammenhang zwischen einer Exposition mit elektromagnetischen Feldern und unspezifischen Symptomen wie Schlafstörungen, Konzentrationsstörungen oder Kopfschmerzen besteht.

Die Diskussionen um das Thema „Mobilfunk und Gesundheit“ wurden in der Presse und in Teilen der Bevölkerung über viele Jahre hinweg sehr emotional geführt. Die sachliche Kommunikation über technische und gesundheitliche Aspekte elektromagnetischer Felder wurde dadurch z. T. in erheblichem Maße erschwert. Mehrere Forschungsprojekte untersuchten die Wahrnehmung des Themas Mobilfunk in der Gesellschaft näher und ermittelten Möglichkeiten zur Verbesserung der Information und Kommunikation. Es wurde deutlich, dass für den Großteil der Bevölkerung das Thema Mobilfunk und Gesundheit im Vergleich zu anderen möglichen Gesundheitsrisiken keine besondere Rolle spielt. In bestimmten Gruppen besteht jedoch eine hohe Sorge und eine subjektiv stark wahrgenommene Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder. Informations- und Kommunikationsangebote müssen gezielt auf das Informationsbedürfnis spezifischer Gruppen zugeschnitten sein und in der Form der Vermittlung das Informationsverhalten und die Informationsverarbeitung der jeweiligen Gruppen berücksichtigen. Nur dann werden sie von den angesprochenen Gruppen wahrgenommen und zur Meinungsbildung herangezogen.

Die Ergebnisse des DMF geben insgesamt keinen Anlass, die Schutzwirkung der bestehenden Grenzwerte in Zweifel zu ziehen. Die in einigen Studien gefundenen geringfügigen physiologischen Reaktionen, die Hinweise, dass Kinder eventuell stärker exponiert sein könnten als Erwachsene, die nicht abschließend geklärte Frage nach gesundheitlichen Risiken bei einer langfristigen Handyexposition sowohl für Erwachsene, besonders aber für Kinder, legen auch weiterhin einen vorsichtigen Umgang mit drahtlosen Kommunikationstechniken nahe. Die Beibehaltung der vom BfS und auch von der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK, 2006) formulierten einschlägigen Vorsorgeempfehlungen vor allem für Kinder und Jugendliche wird weiterhin empfohlen.

Beim Betrieb der bestehenden und der Entwicklung neuer drahtloser Kommunikationstechnologien ist weiterhin auf eine vorsorgliche Minimierung der Exposition der Nutzer und der Bevölkerung zu achten. Die bestehenden Unsicherheiten in der Risikobewertung müssen durch gezielte Forschung weiter eingegrenzt werden. Zukünftige Informationsmaßnahmen für die allgemeine Bevölkerung sollten klares Orientierungswissen bieten und mögliche Handlungsspielräume für den Einzelnen aufzeigen. Aussagen über wissenschaftliche Erkenntnisse und die Grenzen des Wissens müssen dabei in Sprache und Komplexität so einfach und konkret wie möglich formuliert werden.

## **2. HINTERGRÜNDE, ZIELE UND VERFAHREN DES DMF**

Vom Bundesamt für Strahlenschutz wurde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in den Jahren 2002 bis 2008 das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) durchgeführt. Das Programm hatte ein Finanzvolumen in Höhe von 17 Mio. € und wurde anteilig aus Haushaltsmitteln des BMU und der vier deutschen Mobilfunk Netzbetreiber finanziert. Durch im Vorfeld festgelegte Verfahrensabläufe wurde die unabhängige Durchführung des Programms durch das BfS sichergestellt, so dass weder die Netzbetreiber noch sonstige Dritte Einfluss auf die Auswahl der Forschungsnehmer noch auf die Durchführung und Bewertung des Programms hatten. Die Auswahl der Forschungsschwerpunkte erfolgte unter Einbeziehung der Fachöffentlichkeit. Die Transparenz des Programms wurde durch eine eigens für das Forschungsprogramm eingerichtete Homepage und durch den begleitenden Runden Tisch gewährleistet. Mit dem DMF wurde auch das internationale EMF-Projekt der WHO unterstützt und damit international zur Verbesserung der Datenlage zur Risikobewertung beigetragen.

Ziel des DMF war es, offenen Fragen zu möglichen gesundheitlichen Risiken sowie zu grundsätzlichen biologischen Wirkungen und Mechanismen der beim Mobilfunk verwendeten hochfrequenten elektromagnetischen Felder wissenschaftlich belastbar nachzugehen und damit einen Beitrag zur Verringerung der Unsicherheiten in diesem Bereich zu leisten. Letztendlich dienen die erzielten Ergebnisse der Überprüfung der bestehenden Strahlenschutzmaßnahmen. Zu diesem Zweck wurden insbesondere die Studien vorgesehen, in denen vorliegenden Hinweisen auf biologische Effekte unterhalb der Grenzwerte nachgegangen wurde.

Das Phänomen der Elektrosensibilität wurde weiter abgeklärt. Insbesondere wurde versucht, mögliche Ursachen für das Auftreten dieses Phänomens zu finden und eine bessere Charakterisierung der Betroffenen zu ermöglichen. Ein weiterer Schwerpunkt war es, die gesellschaftliche Risikowahrnehmung näher zu untersuchen und Möglichkeiten für eine Verbesserung der Risikokommunikation zu ermitteln. Ein Nachweis der Unschädlichkeit der Technologie war nicht Gegenstand des Programms; ein solcher Nachweis ist wissenschaftlich nicht möglich.

Es wurde angestrebt, dass die Ergebnisse Aussagekraft für das gesamte Frequenzspektrum der Telekommunikation haben und möglichst auch die Bewertung von Wirkungen zukünftiger technischer Entwicklungen zulassen. Deshalb wurde der Frequenzbereich bewusst breit gefasst und ging in einigen Studien über die für GSM und UMTS genutzten Bereiche hinaus.

Die Forschungsschwerpunkte waren:

- Wirkungsmechanismen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder;
- Auswirkungen bei Tieren und beim Menschen;
- Erfassung der Exposition;
- Risikokommunikation.

Vergabeverfahren und Durchführung der Projekte erfolgte in Anlehnung an die Vorschriften des Umweltforschungsplans des BMU. Besonderer Wert wurde auf die Transparenz des Verfahrens und die Unabhängigkeit der Forschung gelegt. Die hierfür einschlägigen grundsätzlichen Eckpunkte wurden zu Beginn festgelegt.

### **2.1 ERMITTLUNG DES FORSCHUNGSBEDARFS UND FESTLEGUNG DES PROGRAMMS**

Im Jahr 2001 hat die Strahlenschutzkommission (SSK) offene wissenschaftliche Fragen über mögliche gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder identifiziert und dem BMU empfohlen, diese durch Intensivierung der Forschungsanstrengungen zu beantworten (SSK 2001). Daraufhin fand im Juni 2001 im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein Fachgespräch unter breiter Beteiligung der Wissenschaft, einschlägiger Behörden und verschiedener anderer Organisationen statt. Auf der Grundlage dieses Fachgesprächs, der Empfehlung der SSK und der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) veröffentlichten Empfehlung zum Forschungsbedarf, wurde von BfS und BMU ein Forschungsprogramm ausgearbeitet. Dieses wurde Bestandteil des Umweltforschungsplans des BMU.

Nachdem die Netzbetreiber die im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung zugesagte finanzielle Unterstützung der Forschung verbindlich dem DMF zugewiesen hatten, wurde das ursprüngliche fachliche Spektrum des Programms entsprechend erweitert. Im April 2003 wurden vom BfS Vorschläge für weitere Forschungsvorhaben ausgearbeitet. Zusammen mit der hierzu von der SSK erarbeiteten Stellungnahme wurden die Forschungsvorschläge im Internet öffentlich gemacht und zur Diskussion gestellt. Ziel war es, ein möglichst breites Meinungsspektrum in die weitere Gestaltung des Mobilfunk Forschungsprogramms einfließen zu lassen. Alle konstruktiven Kommentare, die zum Gesamtprogramm, seinen Inhalten, Prioritäten und evtl. erforderlichen Modifikationen und Ergänzungen abgegeben wurden, wurden auf der Web-Seite des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (<http://www.emf-forschungsprogramm.de>) veröffentlicht. Im September 2003 fand ein 2. Fachgespräch mit dem Thema „Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ in Berlin statt. Es diente der Vorstellung der neu formulierten Projektvorschläge sowie der abschließenden

Diskussion der Inhalte des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms. An dem Fachgespräch nahmen Vertreter und Vertreterinnen aus Staat, Wissenschaft, Wirtschaft, Umwelt- und Verbraucherverbänden sowie von Betroffenenorganisationen teil. Die Projekte in den einzelnen Teilbereichen wurden zusammen mit den Kommentaren aus der Öffentlichkeitsbeteiligung vorgestellt. Die Themen, bei denen ein Konsens zwischen dem BfS-Vorschlag, der SSK-Stellungnahme und den öffentlichen Kommentaren fehlte, wurden zur Diskussion gestellt. Im Nachgang zum Fachgespräch wurde per E-Mail ein Votum erbeten, in dem die Teilnehmer ihre Meinung zu Prioritäten der einzelnen Projekte begründet darlegen konnten. Ergebnis und Auswertung dieses E-Mail Votums wurde als Anhang zum Protokoll des 2. Fachgesprächs veröffentlicht (Kreuzer *et al.* 2004). Die Auswertungen aller Beiträge wurden vom BfS zusammengefasst. Sie flossen in die Festlegungen für das Gesamtprogramm ein, das ebenfalls auf den Internetseiten des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms veröffentlicht wurde. Im Laufe des Programms mussten kleinere Korrekturen vorgenommen werden, da sich z. B. bestimmte Fragestellungen im Rahmen des DMF als nicht durchführbar erwiesen, oder im Verlauf wissenschaftliche Fragen aufgeworfen wurden, denen kurzfristig nachgegangen werden musste. Insgesamt wurden 54 Einzelprojekte durchgeführt (siehe Anhang 3), wobei einige als Ergänzungen einer Hauptstudie zugeordnet werden können.

## 2.2 DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Forschungsprogramms lag ausschließlich in der Zuständigkeit des BfS. Sie erfolgte in Anlehnung an die Regelungen der Arbeitsanweisung UFO-Plan. Besonderer Wert wurde auf eine hohe Transparenz des Verfahrens und eine breite Diskussion der Ergebnisse gelegt.

### Zeitabläufe / Programmstruktur

Das DMF wurde als ein Gesamtprojekt konzipiert. Die 2003 erforderliche Konsultation zur Erweiterung des bereits bestehenden Forschungsprogramms führte dazu, dass viele Projekte erst im Jahr 2004 begonnen werden konnten. Deshalb konnten einige Studien des DMF innerhalb der Gesamtlaufzeit des Programms nicht mehr zu Ende gebracht werden. Bei der Finanzierung wurden neue Wege beschritten. Es flossen sowohl Mittel des UFO-Plans als auch der vier deutschen Netzbetreiber ein. Dabei erfolgte eine flexible Mittelverteilung auf Einzelvorhaben durch das BfS. Eine Aufschlüsselung gegenüber den Forschungsnehmern, den Netzbetreibern oder sonstigen Dritten erfolgte nicht. Das BfS fungierte diesbezüglich als „Firewall“.

### Fachgespräche

Im Rahmen des DMF wurden Fachgespräche zur Festlegung der Inhalte und zur Diskussion der Ergebnisse mit der Fachöffentlichkeit durchgeführt.

Das 1. Fachgespräch im Juni 2001 diente der Diskussion des bestehenden Forschungsbedarfs und der Dringlichkeit der einzelnen Themen (BfS-Schrift 25/2002).

Das 2. Fachgespräch im September 2003 diente der Diskussion zur Erweiterung des Forschungsrahmens infolge der finanziellen Beteiligung durch die Netzbetreiber und der Festlegung der Inhalte des DMF (BfS-Schrift 1/2004).

Das 3. Fachgespräch mit den Forschungsnehmern, externen Wissenschaftlern und den Mitgliedern des Runden Tisches (siehe Runder Tisch „DMF“) wurde im Frühjahr 2005 durchgeführt. Dabei wurden die bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erkenntnisse aus dem DMF sowie die aus internationalen Projekten vorliegenden Ergebnisse aufgearbeitet und einzelne Forschungsprojekte modifiziert ([http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/tagungsbericht\\_3fg.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/tagungsbericht_3fg.html)).

Im Juni 2008 findet unter breiter nationaler und internationaler Beteiligung das 4. Fachgespräch zur abschließenden Bewertung der Ergebnisse des DMF in Berlin statt.

Zusätzlich zu den umfassenden öffentlichen Fachgesprächen wurde eine Reihe themenspezifischer internationaler Fachgespräche zu einzelnen Aspekten des Programms durchgeführt. Deren Ziel war es, den aktuellen Stand der Projekte mit Forschungsnehmern und internationalen Fachleuten zu diskutieren.

Im Juli 2006 fand das internationale Fachgespräch zur Dosimetrie im BfS Neuherberg statt. Schwerpunkt des Fachgesprächs waren die Forschungsprojekte, die sich mit der Bestimmung der im Alltag vorhandenen Exposition durch elektromagnetische Felder befassen. Neben der Mobilfunktechnologie wurde auch die Exposition durch neue Technologien (z. B. digitaler Rundfunk und Fernsehen, WLAN, schnurlose DECT Telefone) untersucht und somit ein weites Spektrum an technischen Anwendungen elektromagnetischer Felder abgedeckt, die das tägliche Leben bestimmen. Darüber hinaus wurden die Beiträge der Dosimetrie in den biologischen Projekten des DMF diskutiert.

Im Oktober 2006 fand das internationale Fachgespräch zu Projekten der Risikokommunikation und Risikowahrnehmung im BfS Neuherberg statt. Schwerpunkt des Fachgesprächs waren die Forschungsprojekte, die sich mit der Wahrnehmung des Mobilfunks in der Gesellschaft, der Risikowahrnehmung und Möglichkeiten einer verbesserten Risikokommunikation befassen. Neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Projekte an sich, stand insbesondere die Frage der Möglichkeiten zur praktischen Umsetzung der erarbeiteten Erkenntnisse im Mittelpunkt des Fachgesprächs.

Im Dezember 2006 fand das Fachgespräch zum Themenbereich "Akute gesundheitliche Effekte" statt. Schwerpunkt dieses internationalen Fachgesprächs war die Frage, ob die hochfrequenten Felder des Mobilfunks akute gesundheitliche Auswirkungen haben können. Die diskutierten Projekte bearbeiteten die Thematik sowohl in epidemiologischen Studien als auch im Labor. Das Spektrum der untersuchten Symptome umfasst alle wesentlichen Beschwerden, die von betroffenen Personen im Zusammenhang mit dem Mobilfunk berichtet werden. Intensiv beleuchtet wurden Auswirkungen auf den Schlaf. Ein besonderes Augenmerk wurde auf Kinder und elektrosensible Personen gelegt.

Im Mai 2007 fand das internationale Fachgespräch zu Wirkmechanismen statt. Schwerpunkt waren die Forschungsprojekte, die sich auf zellulärer und subzellulärer Ebene mit den Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks befassen. Zu den in den Studien untersuchten Endpunkten gehören z. B. die Funktion von Zellen, Einflüsse auf die Melatoninproduktion, schädigende Einflüsse auf die DNA oder auf die Expression von Genen sowie die biophysikalischen Eigenschaften von Zellen, Zellmembranen und Zellsuspensionen, von denen die Energieabsorption im exponierten Gewebe abhängt. Weiterhin wurden Vorhaben vorgestellt, die mit elektrophysiologischen Methoden die Funktionalität neuronaler Netzwerke in einem Netzhautpräparat und von Hörzellen in der isolierten Hörschnecke während einer Exposition untersuchten.

Im Oktober 2007 fand das internationale Fachgespräch zu Langzeitwirkungen statt, auf dem vor allem tierexperimentelle Langzeitstudien und epidemiologische Studien, die sich mit Langzeiteffekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks befassen, vorgestellt und diskutiert wurden. In den biologischen Studien wurden u. a. Auswirkungen chronischer HF-Exposition auf die Blut-Hirn-Schranke, auf das Stress- und Immunsystem, die Kognition, Tinnitus, Fortpflanzung und Entwicklung sowie auf die Entwicklung von Leukämie in einem speziellen Tiermodell untersucht. Im epidemiologischen Teil wurden u. a. die deutschen Teilergebnisse der INTERPHONE-Studie, vorläufige Daten einer umfassenden Studie zum Uvealmelanom und der Stand einer Fall-Kontroll-Studie zu kindlichen Leukämie um Radio- und Fernsehsender präsentiert.

Die Kosten für die Durchführung der Fachgespräche wurden aus dem Gesamtbudget des Forschungsprogramms gedeckt (siehe Overhead).

#### Kolloquien

Arbeitsbesprechungen und Kolloquien mit den Forschungsnehmern wurden bei Bedarf durchgeführt. Die erforderlichen Mittel wurden durch die einzelnen Projektbudgets abgedeckt. Soweit externe Expertise erforderlich war, wurden die dafür erforderlichen Kosten aus dem Gesamtbudget des Forschungsprogramms gedeckt (siehe Overhead). Derartige Arbeitsbesprechungen und Kolloquien fanden im BfS statt:

- Kolloquium "Epidemiologische Forschungsvorhaben zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern" im Juli 2003;
- Fachgespräch zur Dosimetrie bei epidemiologischen Studien um Basisstationen im März 2004;
- Kolloquium "Epidemiologische Forschungsvorhaben zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern" im Mai 2004;
- Kolloquium zu ausgewählten Themen der Dosimetrie im Januar 2005;
- Kolloquium zu biologischen Projekten im Oktober 2005;
- Kolloquium "Epidemiologische Forschungsvorhaben zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern" im November 2005;
- Kolloquium zur Risikokommunikation im November 2005;
- Kolloquium zu den Projekten zur Elektrosensibilität im Mai 2006.

#### Internetportal

Um die Transparenz für die interessierte Öffentlichkeit zu erhöhen, wurde ein Internetportal für das Forschungsprogramm ([www.emf-forschungsprogramm.de](http://www.emf-forschungsprogramm.de)) eingerichtet.

Die Inhalte des DMF Internetportals sind:

- Beschreibung des Gesamtprogramms.
- Übersicht über die Vorhaben des Programms (Thema, Kurzbeschreibung, Laufzeit (jeweils deutsch und englisch), Zwischenberichte, Abschlussberichte (deutsch) sowie Kurzfassungen in Deutsch und Englisch.
- Übersicht über Ergebnisse nationaler und internationaler Forschungsprojekte auf den hier einschlägigen Gebieten einschließlich einer Bewertung durch das BfS.
- Andere einschlägige Forschungsvorhaben des BfS im Rahmen des UFO-Plans, die nicht Bestandteil des DMF waren.

Die Kosten für die Einrichtung des Portals wurden aus dem Gesamtbudget des Forschungsprogramms gedeckt (siehe Overhead). Die laufende Pflege wurde aus den Haushaltsmitteln des BfS abgedeckt.

### Öffentliche Konsultation

Um ein möglichst breites Meinungsbild zum Forschungsprogramm insgesamt zu erhalten, erfolgte im Vorfeld zum 2. Fachgespräch eine öffentliche Konsultation über das Internet. Dazu wurde im August und September 2003 das Gesamtprogramm mit den einzelnen wissenschaftlichen Fragestellungen im bestehenden Internetportal veröffentlicht und die Öffentlichkeit um Kommentare gebeten. Es gingen insgesamt 66 Zuschriften ein, die sich in 91 Kommentare aufschlüsseln ließen. 22 Kommentare waren nicht programmbezogen, 4 betrafen das Gesamtprogramm; 34 ließen sich dem Bereich Biologie, 17 dem Bereich Dosimetrie, 7 dem Bereich Epidemiologie und 7 dem Bereich Risikokommunikation zuordnen. Die Kommentare wurden vom BfS bewertet und auf dem 2. Fachgespräch zur Diskussion gestellt.

### Overhead

Für die Unterstützung der verwaltungsmäßigen Bearbeitung, die Durchführung von Fachgesprächen und die Erstellung des Internetportals sind Kosten in Höhe von ca. 1,9 % des Gesamtvolumens des Forschungsprogramms angefallen. Diese wurden aus dem Gesamtbudget des Programms entnommen. Die darüber hinaus gehenden personellen Voraussetzungen für die fachliche Bearbeitung wurden vom BfS geschaffen und finanziert.

## **2.3 BEGLEITENDE MAßNAHMEN**

### Runder Tisch „Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm“

Zur Begleitung des Forschungsprogramms wurde im Juni 2004 durch das BfS ein Runder Tisch eingerichtet. Aufgabenschwerpunkte des RTDMF waren insbesondere die Unterstützung des BfS bei:  
der Steuerung des Forschungsprogramms im Hinblick auf Transparenz bei der Durchführung des Programms,  
der Kommunikation des Programms, seiner Ziele und der Ergebnisse und Erarbeitung von Konzepten zur Veröffentlichung der Forschungsergebnisse,

Die Mitglieder des RTDMF wurden von den folgenden Institutionen gestellt:

- Bundesärztekammer
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)
- Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag
- Forschungsgemeinschaft Funk
- Informationszentrum Mobilfunk
- Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz
- Länderausschuss für Immissionsschutz
- Netzbetreiber
- dpa/gms Themendienst
- Strahlenschutzkommission.
- Verbraucherzentrale

Der Runde Tisch zum Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm tagte insgesamt 9 Mal. Neben dem gewinnbringenden Effekt, dass durch die regelmäßigen Treffen und den offenen Austausch zwischen den verschiedenen Stakeholdern Kommunikationswege geschaffen und stabilisiert wurden, hat der RTDMF auch eine Reihe von Vorschlägen gemacht, die dazu dienten, die Transparenz des DMF und die Kommunikation der Prozesse, Inhalte und Ergebnisse zu verbessern. Die folgenden Maßnahmen gehen teilweise oder vollständig auf Anregungen des Runden Tisches zurück:

- Verstärkung der Präsenz des DMF durch stetes Verweisen in Stellungnahmen und Pressemitteilungen sowie stärkere internationale Präsenz durch zahlreiche Vorträge auf internationalen Veranstaltungen und Verankerung bei der WHO.
- Verbesserung der Auffindbarkeit des DMF in Suchmaschinen z. B. durch eine bessere Positionierung bei Google.
- Durchführung von Journalistenseminaren.
- Verstärkung des Kontakts zu Ärzten als wichtige Zielgruppe sowie Prüfung einer möglichen Einbindung eines Vertreters praktischer Ärzte in den RTDMF.
- Übersichtlichere Gestaltung der Projektinformationen auf der DMF-Internetseite durch z. B. tabellarische Auflistung der Projekte mit kurzer Beschreibung.
- Bereitstellung von mehr Informationen zum Vergabeverfahren.
- Eine deutlichere Trennung von Fachdiskussion und Kommunikation mit Laien, das durch das Konzept der Abschlussphase umgesetzt wurde.

In der Kommunikation der Abschlussphase wurden folgende Empfehlungen des RTDMF berücksichtigt:

- In der Kommunikation der DMF-Ergebnisse gegenüber der Öffentlichkeit wurden Multiplikatoren und Meinungsbildner als entscheidende Zielgruppe eingebunden.
- Sowohl im Kontakt mit Multiplikatoren als auch in der Kommunikation mit wissenschaftlichen Laien der Öffentlichkeit wurde versucht, die wissenschaftlichen Ergebnisse zu „begreifbaren Aussagen“ zu verdichten mit dem Ziel, Orientierungswissen zu schaffen.

Fachgespräch „Gesundheitliche Auswirkungen der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - Befundberichte“  
Von verschiedenen mobilfunkkritischen Ärzteinitiativen wurde wiederholt ein Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks und einer Vielzahl von Erkrankungen postuliert. Im August 2006 wurde im BfS ein Fachgespräch zu diesem Thema durchgeführt. Teilnehmer waren Umweltmediziner, Vertreter mobilfunkkritischer Ärzteinitiativen, Umweltepidemiologen, Vertreter der Bayerischen Ärztekammer, Forschungsnehmer des DMF sowie Vertreter des BfS und des BMU. Möglichkeiten und Grenzen im Umgang mit medizinischen Befundberichten wurden erörtert. Bezüglich der Frage, ob ADHS bei Kindern mit einer Exposition durch elektromagnetische Felder verbunden ist, zeigte sich, dass relevante Untersuchungen in Studien des DMF bereits enthalten waren. Hierauf wird in Kap. II des Anhangs 1 eingegangen. Von einem Teilnehmer wurde vorgeschlagen, Beschwerdeverläufe elektrosensibler Personen langfristig im Rahmen einer Studie zu verfolgen. Da es sich hierbei letztlich nicht um Strahlenschutzforschung im eigentlichen Sinne handelt, wurde keine Möglichkeit gefunden, ein solches Projekt in den Umweltforschungsplan einzubringen. Es wurde eine erneute messtechnische Untersuchung der häuslichen Situation einer von der Ärzteinitiative vorgeschlagenen Familie vereinbart und durchgeführt. Die Messungen wurden umfassend dokumentiert. Der Bericht steht unter [http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/Messberichte\\_27\\_07\\_2007.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/Messberichte_27_07_2007.html) zur Verfügung. Die gemessenen elektromagnetischen Feldstärken liegen in dem Rahmen, der von den Studien des DMF auch an anderen Orten erfasst worden ist. Sie entsprechen auch den in Befundberichten genannten Werten. Insofern können die in den folgenden Kap.n dargestellten Ergebnisse grundsätzlich auch zur Bewertung der von den Ärzteinitiativen dargelegten Situationen herangezogen werden.

## **2.4 VERFAHREN ZUR BEWERTUNG DER ERGEBNISSE**

Die transparente Kommunikation des Verfahrens, der Ergebnisse, der Art der Bewertung sowie der Bewertung der Einzelergebnisse an sich war für das BfS ein wichtiges Anliegen. Deshalb wurden von Anfang an das fachliche Management des Projekts sowie alle Grundlagen der Bewertung wie Zwischenergebnisse, Ergebnisse und Fachveranstaltungen dokumentiert und auf den Internetseiten des DMF publiziert. Bei der wissenschaftlichen Auswertung und Bewertung der Ergebnisse wurde eine breite wissenschaftliche Expertise einbezogen. Dabei flossen auch die Ergebnisse anderer nationaler und internationaler Forschungsprogramme in die Bewertung ein.

Alle Forschungsnehmer waren vom BfS aufgefordert, ihre Einzelergebnisse ausführlich in einem Bericht zusammenzufassen. Darüber hinaus sollten sie auch in anerkannten wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert werden. Aus dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm resultierten bis Mitte 2008 insgesamt 60 Fachpublikationen und 50 Beiträge zu Fachveranstaltungen (siehe Anhang 4).

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Themenbereichen des DMF wurden zunächst in wissenschaftlichen Fachgesprächen diskutiert. Dabei wurden nationale und internationale Experten mit einem möglichst breiten Meinungsspektrum hinzugezogen. Die Ergebnisse dieser Fachgespräche bildeten die Grundlage für eine abschließende wissenschaftliche Tagung unter Einbeziehung nationaler wie internationaler Expertengruppen und Organisationen (u. a. WHO, ICNIRP, SSK), im Laufe derer die Ergebnisse fachlich diskutiert und die verbleibenden wissenschaftlichen Lücken identifiziert werden.

## **3. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZU AKUTEN WIRKUNGEN**

### **3.1 ERKENNTNISSTAND ZU BEGINN DES DMF**

Zur Frage möglicher akuter gesundheitlicher Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder gab es zu Beginn des DMF nur sehr wenige epidemiologische Studien mit wenig belastbaren, z. T. widersprüchlichen Ergebnissen. Die meisten dieser Studien wiesen methodische Probleme auf wie z. B. die Fehlklassifikation der Exposition, die selektive Auswahl der Probanden oder die ungenügende Berücksichtigung von Störfaktoren (Confounding). Da zum Zeitpunkt der ersten Studien keine Personendosimeter zur Verfügung standen, war v. a. die tatsächliche Exposition der Studienteilnehmer zu hinterfragen.

Experimentelle Studien mit im Alltag vorkommenden Feldintensitäten zeigten überwiegend keine Effekte hochfrequenter Felder auf Schlaf und Kognition. Ergebnisse zum Schlaf lagen aus einigen Laboruntersuchungen unter kontrollierten Randbedingungen vor, vereinzelt wurde eine leicht Schlaf fördernde Wirkung beobachtet. Auch die Ergebnisse von Verhaltenstests unter Laborbedingungen waren widersprüchlich: Es zeigten sich positive, negative oder gar keine Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Reaktionszeiten und kognitive Leistungen.

Demgegenüber gab es zahlreiche Erfahrungsberichte betroffener Personen und ärztliche Fallberichte und Appelle über akute, zum Teil massive gesundheitliche Beschwerden im Zusammenhang mit hochfrequenten Feldern. Als Quellen für die Beschwerden wurden überwiegend Expositionen durch Mobilfunk-Basisstationen aber auch durch Handys und DECT-Telefone genannt. Es wurden viele unspezifische Beschwerden beschrieben, Schlafstörungen und Kopfschmerzen kamen besonders häufig vor.

Eine besondere Gruppe stellen die elektrosensiblen Personen dar, die sich selbst als besonders empfindlich gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern beschreiben. Sie leiden unter einer Vielzahl von Symptomen, die sie auf die Exposition mit nieder- und hochfrequenten Feldern sehr geringer Intensität zurückführen. In einem früheren Forschungsvorhaben wurde eine Liste von 36 Beschwerden erstellt (Frick *et al.*, 2006). Von einigen Betroffenen wird außerdem ein Zusammenhang mit einer besonderen Chemikalienbelastung und mit Allergien vermutet. Für elektrosensible Personen können die vielfältigen Symptome zu einer starken Minderung der Lebensqualität führen, ein ursächlicher Zusammenhang mit nieder- oder hochfrequenten Feldern wurde bis dato aber nicht bestätigt.

Neben dem Phänomen der „Elektrosensibilität“ weist ein Teil der Bevölkerung eine niedrigere Wahrnehmungsschwelle z. B. für elektrischen Strom auf. Diese objektivierbare Eigenschaft wird als „Elektrosensitivität“ bezeichnet. Elektrosensitive Personen klagen in der Regel nicht über Beschwerden im Zusammenhang mit einer Exposition mit elektromagnetischen Feldern.

In doppelt-blind durchgeführten Untersuchungen konnten elektrosensible Personen genau wie Kontrollpersonen nur zufällig ein schwaches hochfrequentes Feld, z. B. eines Mobiltelefons, erkennen. Nur in wenigen doppelt-blind durchgeführten Studien zeigte sich ein Zusammenhang zwischen den Beschwerden und einer Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Rubin *et al.*, 2005). Diese Studien wiesen aber methodische Mängel auf oder konnten von den Autoren selbst nicht reproduziert werden.

### 3.2 ERGEBNISSE

Eine Querschnittsstudie an ca. 30.000 erwachsenen Personen („Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“) lieferte deutschlandweit repräsentative Daten: Bezogen auf die Gesamtbevölkerung sind 28 % der erwachsenen Bevölkerung besorgt wegen möglicher gesundheitlicher Auswirkungen von Basisstationen und 11 % führen gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Basisstationen zurück. Dabei zeigt sich ein starkes Nord-Süd-Gefälle, mit der stärksten Besorgtheit in Bayern und der geringsten in Mecklenburg-Vorpommern. Die Anteile an besorgten bzw. sich beeinträchtigt fühlenden Personen stimmen gut mit den Zahlen überein, die bei den jährlichen Befragungen ermittelt wurden. Im Vergleich zu den Ergebnissen aus der besonderen Befragung zur Elektrosensibilität ergeben sich geringfügige Unterschiede, die aber auf die unterschiedliche Befragungssituation zurückgeführt werden können (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. II.1).

Zusätzlich wurde in der Querschnittsstudie die Distanz zwischen Wohnung und Standort der Basisstationen auf Basis der jeweiligen Geokoordinaten berechnet und eine grobe Expositionsabschätzung unter Berücksichtigung von relevanten Variablen zur Wohnsituation und –umgebung sowie der Antennencharakteristika durchgeführt. Es zeigte sich, dass im Jahr 2004 47 % der Privathaushalte in Deutschland keine Basisstation im Umkreis von 500 m hatten und damit praktisch keine Exposition gegenüber Feldern von Mobilfunkbasisstationen. Die 53 % der Privathaushalte, die im 500 m Umkreis einer Basisstationen lagen, wiesen nach dem Expositionssurrogat eine mediane Leistungsflussdichte von 0,006 mW/m<sup>2</sup> auf und lagen damit weit unter dem Grenzwert.

Bei 1.808 Probanden der Querschnittsstudie wurde eine 20-minütige Messung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder im Schlafzimmer mit Hilfe von Personendosimetern durchgeführt („Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie“). Dabei wurden getrennt die Felder von Mobilfunkbasisstationen (GSM-900, GSM-1800, UMTS), von Radio- und Fernsehsendern, DECT und WLAN aufgezeichnet. Für eine Untergruppe von 1.326 Probanden lagen zusätzlich Angaben zu relevanten Störgrößen und im Detail zu gesundheitlichen Beschwerden vor. Risikoanalysen auf Basis der gemessenen Gesamtfeldstärke der hochfrequenten elektromagnetischen Felder der Basisstationen zeigten keinen Zusammenhang zwischen den gemessenen Feldern von Basisstationen und den fünf untersuchten Zielvariablen Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Beschwerden allgemein, gesundheitliche Lebensqualität psychisch oder körperlich. Im Regressionsmodell wurden dabei Alter, Geschlecht, Wohnumgebung, Handynutzung, chronischer Stress, Ängstlichkeit und Depressivität berücksichtigt. Das Zurückführen („Attribution“) von gesundheitlichen Beschwerden auf die Felder von Basisstationen war statistisch signifikant mit Schlafstörungen und Beschwerden allgemein assoziiert, nicht aber mit den Zielvariablen Kopfschmerzen und gesundheitliche Lebensqualität (psychisch und physisch). (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kapitel II 1).

Eine Überprüfung der Validität des Expositionssurrogats, das in der Querschnittsstudie als grober Expositionsindikator verwendet worden war, durch die Messwerte mit Hilfe der Personendosimeter („Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie“) ergab eine sehr geringe Übereinstimmung. Problematisch sind vorwiegend ungenaue Eingangsparameter (Geokoordinaten von Basisstationen und Wohnungen, Umgebungsbebauung, etc.). Das Expositionssurrogat kann in epidemiologischen Studien nur bei deutlicher Verbesserung der Genauigkeit der Eingangsparameter verwendet werden.

In einer Laborstudie („Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen“) wurden 30 junge gesunde männliche Probanden untersucht. Es wurde jeweils der Kopf mit GSM-900 oder UMTS exponiert oder scheinexponiert, wobei der maximal zulässige SAR-Wert für den

Kopf von 2 W/kg erreicht, aber nicht überschritten wurde. Die Ergebnisse der Schlaf-EEGs ergaben für GSM und UMTS einige wenige signifikant veränderte Parameter im Bereich des Leichtschlafs. Da der Tiefschlaf sowie die Gesamtschlafdauer unverändert blieben, kann man die beobachteten Effekte als eine geringfügige physiologische Reaktion bewerten, aber nicht als schlafstörend. Ein Großteil der beobachteten Effekte kann wegen der großen Menge an durchgeführten statistischen Tests auch zufällig aufgetreten sein. Untersuchungen der kognitiven Leistungsfähigkeit ergaben einen signifikanten Einfluss der Tageszeit auf Wachsamkeit und Reaktionsfähigkeit, während die vereinzelt beobachteten Veränderungen unter GSM- und UMTS-Exposition aus statistischen Gründen als zufällig gewertet werden müssen. Die während der Tests aufgezeichneten Wach-EEGs zeigten ebenfalls einen deutlichen Einfluss der Tageszeit auf die verschiedenen Parameter, während die Veränderungen in Abhängigkeit von der Exposition ebenfalls Zufallsbefunde sind. Insgesamt gibt diese Studie nach Meinung der Autoren und des BfS keine Hinweise auf einen gesundheitlich relevanten Einfluss der GSM und UMTS Felder auf Schlaf und Kognition. (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kapitel I 4).

An einer repräsentativen Stichprobe von ca. 300 Probanden wurde an zehn Standorten innerhalb der Bundesrepublik eine doppelblinde Feldstudie unter häuslichen Bedingungen in der Nähe einer Basisstation durchgeführt („Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen“). Die Exposition wurde durch einen mobilen Sendemast gewährleistet. Unter Exposition und Scheinexposition wurde das Schlaf-EEG abgeleitet und mittels Fragebögen die subjektiv empfundene Schlafqualität abgefragt. Die Auswertung der Schlafparameter des Gesamtkollektivs ergab keinen signifikanten Einfluss der Exposition auf subjektive und objektive Schlafparameter. Eine individuelle Auswertung zeigte signifikante Unterschiede bei einzelnen Personen, deren Anteil am Gesamtkollektiv deutlich unter dem zufällig erwarteten lag. Dabei deckten sich die mittels EEG erhobenen Schlafparameter größtenteils nicht mit den subjektiven Angaben der Probanden. Aus den Fragebögen ergaben sich für diese einzelnen Fälle eindeutige, von der Exposition unabhängige persönliche Gründe für schlechteren Schlaf. Die gemessene Feldstärke und die Entfernung vom Sendemast zeigten keinen Zusammenhang mit der Schlafqualität. Bedenken und Besorgnis gegenüber dem Sendemast führten auch unter Scheinexposition zu einer signifikant verschlechterten Schlafqualität. Das bedeutet, dass nicht die elektromagnetischen Felder, sondern psychologische Einflüsse die Schlafqualität beeinträchtigen.

In einer weiteren Studie wurde die Schlafqualität elektrosensibler Personen unter häuslichen Bedingungen untersucht („Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen“). In den Schlafzimmern der Probanden konnten keine atypisch hohen elektromagnetischen Expositionen festgestellt werden, wie von den Probanden vermutet worden war. Die Abschirmung der elektromagnetischen Felder erbrachte keine Verbesserung der Schlafqualität und auch keine signifikanten Veränderungen der Schlafparameter, solange die Versuchspersonen nicht darüber informiert waren, ob eine tatsächliche Schirmung oder eine Attrappe verwendet wurde. Andererseits zeigte sich bei einigen elektrosensiblen Personen eine Verbesserung der subjektiven Schlafqualität, nicht aber der objektiven physiologischen Schlafparameter, wenn sie glaubten unter Abschirmung zu schlafen (Placebo Effekt). Beide Studien sprechen nach Meinung des BfS dafür, dass elektromagnetischer Felder von Basisstationen keinen Einfluss auf die Schlafqualität haben. (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kapitel I 4).

In den verschiedenen Untersuchungen an elektrosensiblen Personen („Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter“; „Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen“ und „Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien“) konnte der von den Betroffenen vermutete Zusammenhang zwischen einer Exposition mit EMF und ihren Beschwerden nicht bestätigt werden. Mit Hilfe der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) konnte gezeigt sich, dass die elektrosensiblen Personen schlechter als die Kontrollpersonen zwischen tatsächlichen und Scheinimpulsen unterscheiden können. Sie glaubten oft auch bei Scheinimpulsen einen Impuls wahrzunehmen. Ihre objektiven Wahrnehmungsschwellen für echte Impulse bei der TMS waren dagegen mit denen der Kontrollpersonen vergleichbar. Dieser Befund bestätigte die Ergebnisse einer Vorläuferstudie („Machbarkeitsstudie: Verifizierung der Beschwerden „Elektrosensibler“ vor und nach einer Sanierung“, siehe [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schriftenreihe\\_rs638.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schriftenreihe_rs638.pdf)). Einige Elektrosensible reagierten mit Beschwerden auf das real nicht existierende "Handysignal", dem sie während der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRI) ausgesetzt wurden oder gaben zumindest an, das Feld "spüren" zu können.

Untersuchungen der Erregbarkeit der Hirnrinde mit Hilfe der TMS mit Doppelpuls ergaben Unterschiede zwischen den elektrosensiblen Personen und Kontrollpersonen. Hinsichtlich verschiedener medizinischer Parameter, mit deren Hilfe Rückschlüsse auf eine mögliche Verschlechterung des Gesundheitszustands bei chronisch stressbelasteten Personen gezogen werden können und einiger relevanter genetischer Faktoren ergaben sich keine Unterschiede zwischen elektrosensiblen und Kontrollpersonen.

Weitere umfangreiche Untersuchungen an elektrosensiblen Personen mit Hilfe von validierten Fragebögen und anhand medizinisch/biologischer Parameter ergaben, dass die Elektrosensiblen eine sehr heterogene Gruppe darstellen, die mit einem einfachen Modell nicht zu beschreiben ist. Bei den gemessenen Laborparametern

zeigten sich nur wenig signifikante Unterschiede zwischen den Elektrosensiblen und den Kontrollpersonen, deren klinische Relevanz aber fraglich ist. Insbesondere ließen sich die von den Betroffenen oft hergestellten Zusammenhänge mit einem gehäuften Auftreten von Allergien und/oder einer besonderen Sensibilität gegenüber Chemikalien nicht bestätigen. Auffallend war aber das signifikant höhere Vorkommen von somatoformen Störungen bei den elektrosensiblen Personen im Vergleich zu den Kontrollpersonen. (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. I.9).

### **3.3 OFFENE FRAGEN**

Untersuchungen akuter Effekte durch Mobilfunk bei Kindern und Jugendlichen wurden zwar im Rahmen einer Querschnittsstudie initiiert („Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern“, siehe Anhang 1, Kap. II.1). Die Klärung dieser Fragestellung geht aber über den zeitlichen und fachlichen Rahmen des DMF hinaus. Laboruntersuchungen hinsichtlich der Schlafparameter und der kognitiven Leistungsfähigkeit liegen bisher nur an gesunden, jungen, männlichen Probanden vor und sollten auch an weiteren möglicherweise empfindlicheren Personengruppen, wie Frauen, Kindern und älteren Personen, bzw. Personen, die unter Schlafstörungen leiden, durchgeführt werden. Die WHO empfiehlt in der Research Agenda (WHO 2006) ebenfalls mit hoher Priorität Untersuchungen an Kindern zu Schlaf und Kognition, soweit ethisch vertretbar.

## **4. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZU WIRKMECHANISMEN**

### **4.1 ERKENNTNISSTAND ZU BEGINN DES DMF**

Es lagen aus nicht reproduzierten Studien Hinweise vor, dass hochfrequente elektromagnetische Felder zu DNS-Schäden führen können, die differentielle Genexpression beeinflussen und/oder auf den Zellstoffwechsel, Zellfunktionen, die Stressantwort oder den zellulären Spiegel an reaktiven Sauerstoffverbindungen (ROS) einwirken können.

Eine durch hochfrequente elektromagnetische Felder verursachte verminderte Melatoninsynthese wurde als möglicher Mechanismus für gesundheitsschädigende Effekte diskutiert (sog. „Melatoninhypothese“).

Das Hörsystem wird bei der Nutzung eines Mobiltelefons am höchsten exponiert und stellt daher eine wichtige Zielstruktur dar. Aus der Bevölkerung wurde die Besorgnis bezüglich möglicher Hörschäden geäußert und einige vorläufige wissenschaftliche Publikationen zeigten Hinweise auf mögliche physiologische Effekte elektromagnetischer Felder auf das Hörsystem.

Es war bekannt, dass starke hochfrequente elektromagnetische Felder eine Erwärmung des Gewebes verursachen und speziell der Zusammenhang von starker Erwärmung und Schädigungen des Auges (Katarakt) war (und ist) unstrittig. Allerdings fehlte eine systematische Untersuchung möglicher Einflüsse schwacher hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das visuelle System.

Offen war auch die Frage, ob gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder der Mobilkommunikation z. B. an Zellmembranen demoduliert werden können. Diese Hypothese steht im Zusammenhang mit speziell gegenüber „gepulsten“ Signalen geäußerten Ängsten und Befürchtungen aus der Bevölkerung.

### **4.2 ERGEBNISSE**

Im Rahmen des DMF wurden verschiedene Endpunkte in für das Immunsystem relevanten Zellen untersucht. Sie erlauben Rückschlüsse auf den Zustand und die Funktionsfähigkeit dieser Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Zu den Endpunkten gehören z. B. Überleben, Vermehrungsfähigkeit, Zellzyklus oder die Induktion von Stressproteinen. Diese Endpunkte wurden nicht beeinflusst. Gleiches gilt für die Konzentration reaktiver Sauerstoffverbindungen in den untersuchten Zellen. Die Hypothese, dass durch die hochfrequenten Felder auch unterhalb der Grenzwerte die Konzentration potentiell genotoxisch wirkender Sauerstoffverbindungen erhöht wird, wird von den Untersuchungsergebnissen insgesamt nicht gestützt.

Der akute Einfluss von Feldern der Mobilfunktechnologie auf die Funktion der das Hormon Melatonin produzierenden Pinealdrüse wurde an isolierten Pinealorganen des Hamsters untersucht. Die "Melatoninhypothese", nach der es durch EMF-Expositionen unterhalb der Grenzwerte zu einer verringerten Melatoninproduktion kommen soll, wurde nicht gestützt.

In einem Zellkultur-Modell der Blut-Hirn-Schranke wurden Einflüsse der Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf Zellen der Blut-Hirn-Schranke untersucht. Mehrere Gene waren signifikant in ihrer Expression verändert, wobei sich allerdings kein plausibles Muster abzeichnete, sondern lediglich punktuelle Signifikanzen bei verschiedenen SAR-Werten. Die beobachteten Veränderungen auf Gen-expressionsebene werden nicht als Hinweis auf eine Funktionsbeeinträchtigung der Blut-Hirn-Schranke gewertet, auf die sich

insgesamt aus *in vivo* Studien und einer *in vitro* Studie keine Hinweise finden. Es wird allerdings empfohlen, die Ergebnisse – u. U. im Rahmen der Grundlagenforschung – zu verifizieren und ggf. weiter zu verfolgen. (Einzelheiten s. Anlage I, Kap. 6).

Neurophysiologische Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder nach GSM- und UMTS-Standard auf das neuronale Netzwerk der Netzhaut und die Aktivität von Hörsinneszellen haben bis zu einem SAR-Wert von 20 W/kg keine systematischen, biologisch relevanten Ergebnisse gezeigt. Die detaillierte multivariate Analyse ergab zwar einige wenige statistisch signifikante Ergebnisse, die jedoch inkonsistent ausfielen, aus methodischen Gründen auch zu erwarten waren und daher aus inhaltlicher und statistischer Sicht als zufällig („falsch positiv“) bewertet werden. Weiterhin wurde deutlich, dass neuronale Netzwerke der Netzhaut und des Gehirns bereits auf Temperaturschwankungen im Bereich von etwa 0,2°C reagieren können. Die daraus resultierenden Veränderungen der neuronalen Aktivität bewegen sich im normalen physiologischen Bereich und haben keine gesundheitliche Relevanz, da die Körpertemperatur im Tagesverlauf um etwa 1°C schwankt (siehe Anhang 1, Kap. I.4). Aus der internationalen Forschung gibt es aktuell keine Hinweise darauf, dass das visuelle System durch schwache elektromagnetische Felder unterhalb der Grenzwerte beeinflusst wird (Schmid *et al.* 2005, Unterlechner *et al.* 2007). Die im Rahmen des DMF durchgeführten dosimetrischen Studien zeigen, dass die Exposition der Netzhaut während eines Telefonats nur gering ist (siehe Anhang 1, Kap. III.1.2.). Deswegen wird zurzeit kein Bedarf gesehen, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das visuelle System weiter zu untersuchen. Die Untersuchungsergebnisse an Hörzellen stehen im Einklang mit den Resultaten der internationalen EU-Forschungsprojekte GUARD und EMFnEAR (Parazzini *et al.* 2007b, <http://www.emfnear.polimi.it/results/documentation/EMFnEARInterimReport.pdf>), die keinen Einfluss von GSM- und UMTS-Signalen auf das Hörsystem gefunden haben. Aufgrund dieser Ergebnisse sind keine akuten negativen Auswirkungen des Mobilfunks auf das Hörsystem zu erwarten.

Der Endpunkt „genotoxische Effekte“ wird über das DMF hinaus bearbeitet werden müssen (Einzelheiten hierzu siehe Anhang 1, Kap. I.2.1). Eine Bewertung der Ergebnisse aus den im DMF initiierten Studien erfolgt, ebenso wie die Ergebnisse der Studie zur differentiellen Genexpression an menschlichen Lymphozyten, zusammen mit den einschlägigen Ergebnissen aus laufenden und zukünftigen UFO-Plan Projekten.

Im internationalen Rahmen wurde zwischenzeitlich versucht, die Ergebnisse einer der am REFLEX-Programm beteiligten Arbeitsgruppen bezüglich genotoxischer Effekte niederfrequenter und hochfrequenter Felder im gleichen Zellsystem (humane Fibroblasten) zu reproduzieren, was jedoch bisher nicht gelang. Bezüglich genschädigender Effekte bleibt festzuhalten, dass diese nach wie vor nur in bestimmten Zelltypen, unter bestimmten Expositionsszenarien bzw. nur bei bestimmten SAR-Werten („Fenstereffekte“) beobachtet wurden und bisher nicht unabhängig reproduziert werden konnten. Es liegen inzwischen mehrere belastbare Studien an nicht stimulierten Lymphozyten vor, in denen keine genschädigenden Effekte von HF-Strahlung gefunden wurden, so dass sich bezüglich dieses Zellsystems ein konsistentes Bild ergibt (siehe auch Anhang 1, Kap. I.2.1).

### 4.3 OFFENE FRAGEN

Unter Strahlenschutzaspekten ergeben sich derzeit keine Ansatzpunkte, die über die bereits laufenden Studien hinausgehen.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZU CHRONISCHEN WIRKUNGEN

### 5.1 ERKENNTNISSTAND ZU BEGINN DES DMF

Aus Studien der Arbeitsgruppe Salford (Salford *et al.* 2003) sowie einer an einem Zellkulturmodell durchgeführten Studie (Schirmacher *et al.* 2000) lagen Hinweise vor, dass hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke erhöhen und Nervenzellen schädigen können. Aus einer tierexperimentellen Studie an Mäusen (Repacholi *et al.* 1997) ergaben sich Hinweise darauf, dass eine chronische Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die Inzidenz für Krebserkrankungen des blutbildenden Systems, speziell für Lymphome, erhöhen könnte. Aus der Bevölkerung wurde die Besorgnis bezüglich möglicher Hörschäden und der Auslösung von Tinnitus geäußert. Aus nicht reproduzierten tierexperimentellen Studien lagen Hinweise darauf vor, dass hochfrequente elektromagnetische Felder Lernen und Kognition negativ beeinflussen könnten und es fehlten tierexperimentelle Langzeitstudien über mehr als eine Generation, vor allem zum neuen Mobilfunkstandard UMTS, dessen Signalcharakteristik sich von der GSM-Signalcharakteristik wesentlich unterscheidet. Auf tierexperimentelle Studien über mehrere Generationen wurde im DMF auch deshalb Wert gelegt, weil diese Studien vorgeburtliche Entwicklungsstadien erfassen können, die unter Umständen für schädliche Einflüsse besonders empfindlich sind.

Aus epidemiologischen Studien zu beruflich hoch exponierten Gruppen (Ahlbom *et al.* 2004) lagen vereinzelt Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Krebserkrankungen wie z. B. Hirntumoren, Leukämien, Brustkrebs, Hodenkrebs und Augenmelanom vor. Diese Studien lieferten zudem Hinweise für einen möglichen Zusammenhang hochfrequenter elektromagnetischer Felder mit Herzkreislauferkrankungen, schädigenden Wirkungen auf die Reproduktion und der Entstehung von Katarakten. In Bezug auf eine umweltrelevante

Exposition der Bevölkerung durch die Felder von Sendeeinrichtungen gab es Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie in der Nähe von starken Radio- und Fernsehsendern. Epidemiologische Studien zur Nutzung von Mobiltelefonen konzentrierten sich hauptsächlich auf die Untersuchung des Erkrankungsrisikos in Bezug auf Hirntumore, das Akustikusneurinom (Hörnerv) oder Augentumore. Hier lagen Hinweise vor, dass hochfrequente elektromagnetische Felder das Risiko erhöhen, an einem Uveal melanom (seltener Augentumor) oder an Hirntumoren zu erkranken. Die Befunde der einzelnen epidemiologischen Studien zu beruflichen oder umweltrelevanten Exposition sowie Mobiltelefonnutzung waren insgesamt sehr widersprüchlich und aufgrund von methodischen Schwächen der einzelnen Studien wenig belastbar. Dies betraf unter anderem die Abschätzung der Exposition durch elektromagnetische Felder, selektive Auswahl von Probanden und Nichtberücksichtigung von anderen Störgrößen.

Generell bestand die Besorgnis, dass Kinder besonders empfindlich gegenüber negativen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder sein könnten. Epidemiologische Studien zu Langzeiteffekten durch Mobilfunk bei Kindern fehlten.

## 5.2 ERGEBNISSE

Aus den Studien des DMF wird die Hypothese einer Schädigung der Blut-Hirn-Schranke durch hochfrequente elektromagnetische Felder unterhalb der Grenzwerte insgesamt nicht gestützt. Dies gilt für eine chronische Ganzkörperexposition, die auch vorgeburtliche Entwicklungsstadien bei Tieren umfasste, sowie für eine lokale akute Exposition am Kopf. Auch bis zu 50 Tage nach Beendigung der Exposition traten hier keine negativen Effekte auf. Bei UMTS-Exposition mit einem SAR Wert von 13 W/kg wurde eine signifikant verminderte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Albumin im Vergleich zur Kontrolle festgestellt.

Bei einer über einen Zeitraum von 4 Wochen wiederholten Exposition wurde dagegen ebenfalls v. a. bei einem SAR-Wert von 13 W/kg in den untersuchten Hirnarealen eine erhöhte Albumin-Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke in den exponierten Tieren festgestellt. Dieser Befund betraf nur GSM und trat nicht unmittelbar, sondern erst zeitverzögert nach Beendigung der Exposition auf. Insgesamt lag der Effekt jedoch in der Größenordnung, der auch in einigen der nichtexponierten Kontrollen auftrat. (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. I.6)

Es wurden keine Hinweise auf die Induktion von Tinnitus im Tiermodell bei SAR-Werten von bis zu 20 W/kg gefunden, weder in Verhaltenstests noch auf molekularer Ebene (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. I.4.1).

Die Entwicklung von Lymphomen wurde in einem speziellen Tiermodell untersucht. Unter Langzeitexposition mit GSM oder UMTS (SAR 0.4 W/kg) traten keine Unterschiede zwischen exponierten Tieren und Kontrollen auf (siehe Anhang 1, Kap. I.1.)

Eine Studie über vier Generationen hinweg an chronisch mit UMTS-Signalen exponierten Mäusen ergab keine Hinweise auf negative Effekte auf die Parameter Fortpflanzung und Entwicklung (siehe Anhang 1, Kap. I.8)

Die Beteiligung an der internationalen Fall-Kontroll-Studie zu Handynutzung und Hirntumoren oder Akustikusneurinomen (gutartiger Tumor des Hörnervs) (INTERPHONE) hat wertvolle Informationen erbracht. In den nationalen Teilstudien wurde übereinstimmend gezeigt, dass das Risiko von Handynutzern, an einem Hirntumor oder Akustikusneurinom zu erkranken, bei einer Nutzungsdauer von weniger als 10 Jahren nicht erhöht ist. Für eine Beurteilung der Langzeitnutzerguppe (Mobiltelefonnutzung für mehr als 10 Jahre) müssen die Daten der Teilnehmerländer noch zusammengefasst ausgewertet werden. Diese Ergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts nicht vor. Im deutschen INTERPHONE-Teil wurde zusätzlich das Hirntumorrisiko bei Nutzung von schnurlosen Telefonen und in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer DECT-Basisstation im Schlafzimmer nahe am Bett untersucht. Es ergaben sich keine Hinweise für ein erhöhtes Hirntumorrisiko. Die bisher vorliegenden Ergebnisse der Fall-Kontroll Studie zum Uveal melanom (seltener Augentumor) zeigen ebenfalls keinen Hinweis auf ein erhöhtes Risiko durch die Nutzung von Mobiltelefonen. Auch hier können wegen zu geringer Zahl von Langzeitnutzern noch keine Aussagen zu den gesundheitlichen Auswirkungen bei einer Nutzung von mehr als 10 Jahren gemacht werden (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. II.2.2).

Die Fall-Kontroll Studie zu Kinderleukämie um starke Radio- und Fernsehsender zeigt keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen geschätzter Feldstärke und einem Risiko für Kinderleukämie (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. II.2.1). Die Gesamtevidenz der bisherigen aussagekräftigen Studien zu Kinderleukämie im Kontext mit den Ergebnissen der Studien zu Wirkmechanismen spricht mehr gegen als für einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang.

Wünschenswert wäre die Durchführung von großen Kohortenstudien gewesen, da diese im Gegensatz zu Fall-Kontroll-Studien die Untersuchung einer großen Bandbreite von möglichen Langzeiteffekten in Abhängigkeit von Mobilfunk erlauben (z. B. Krebsinzidenz, Gesamt mortalität, Herz-Kreislaufkrankungen, neurodegenerative Erkrankungen, Katarakte, etc.). In Deutschland wurde die Machbarkeit von zwei Kohortenstudien geprüft. Eine der geplanten Studien sollte an beruflich hoch exponierten Personengruppen durchgeführt werden. Es konnten jedoch keine geeigneten Kohorten definiert werden, die aussagekräftige Risikoabschätzungen zugelassen hätten. In einer

weiteren Machbarkeitsstudie wurde die Möglichkeit geprüft, sich an der internationalen prospektiven Kohortenstudie an Mobilfunknutzern (COSMOS) zu beteiligen. Aufgrund der geringen Teilnahmebereitschaft der Bevölkerung an der Studie und der Schwierigkeiten bei der Verfolgung bestimmter Endpunkte (z. B. neurodegenerative Erkrankungen) ließ sich die Teilnahme an dieser Studie, die in anderen europäischen Ländern durchgeführt wird, in Deutschland im Rahmen des DMF leider nicht realisieren (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. II.2).

### **5.3 OFFENE FRAGEN**

Angesichts langer Latenzzeiten v. a. von Krebserkrankungen und der vergleichsweise kurzen Zeit einer verbreiteten Nutzung der Mobilfunktechnik wird für Langzeitwirkungen über einen Zeithorizont von ca. 10 Jahren hinaus weiterer Forschungsbedarf im Bereich der Epidemiologie gesehen, sowohl für Erwachsene als auch für Kinder, wobei der Fokus v. a. auf der Teilkörperexposition bei Nutzung körpernaher Quellen liegt.

## **6. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE AUS DER DOSIMETRIE**

### **6.1 ERKENNTNISSTAND ZU BEGINN DES DMF**

Mit dem flächendeckenden Ausbau der GSM-Mobiltelefonnetze und dem bevorstehenden Aufbau der breitbandigen Multimedianeetze (UMTS) sowie mit der damit einhergehenden erwarteten zunehmenden Nutzung entsprechender Endgeräte durch die Verbraucher war mit einer Zunahme der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder zu rechnen. Die zunehmende Marktdurchdringung auch anderer drahtloser Kommunikationsmittel sowie die geplante Umstellung des terrestrischen Fernsehgrundfunks auf den DVB-T Standard standen ebenfalls im Verdacht, die Exposition der Bevölkerung zu erhöhen.

Die grundsätzlichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten, denen elektromagnetische Felder unterliegen, und ihre Wechselwirkungen mit Materie sind seit längerem bekannt und wissenschaftlich gut untersucht. Definierte Verfahren zur hinreichend genauen Erfassung tatsächlicher Expositionen, denen die Bevölkerung durch die neu eingeführten Technologien ausgesetzt sein würde, standen hingegen praktisch nicht zur Verfügung. Die elektromagnetischen Felder besonders des Mobilfunks standen zudem im Verdacht, gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen zu haben. Experimentelle Untersuchungen an Zellen, Labortieren und an Probanden lieferten diesbezüglich teilweise widersprüchliche Ergebnisse. Als eine mögliche Schwäche derartiger Studien wurde die in vielen Studien als unzureichend eingestufte Exposition diskutiert. Wenig bekannt war über die genaue, insbesondere die organspezifische Verteilung der in den Körper einkoppelnden hochfrequenten elektromagnetischen Felder bei unterschiedlichen Frequenzen und der damit möglicherweise verbundenen ungleichmäßigen Erwärmung des Gewebes. Dies liegt darin begründet, dass elektromagnetische Felder in lebenden Organismen messtechnisch praktisch nicht zugänglich sind und genügend detaillierte Computermodelle für numerische Berechnungen nicht zur Verfügung standen. Dies galt sowohl für die unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Menschen als auch für verschiedene in den Studien untersuchte Labortiere. Es stellte sich aus dosimetrischer Sicht auch die Frage der Übertragbarkeit von Laborversuchen auf den Menschen. Nicht bekannt war, ob für die Epidemiologie geeignete Verfahren zur Expositionsklassifizierung definiert werden können. Schließlich gab es die Befürchtung, dass die Nutzung vieler Mobiltelefone auf engem Raum, z. B. in öffentlichen Verkehrsmitteln, zu einer Überschreitung empfohlener Personenschutzgrenzwerte führen könnte.

### **6.2 ERGEBNISSE**

Die im Bereich Dosimetrie im Rahmen des DMF durchgeführten Projekte konnten erheblich zur Aufklärung der o. a. Fragen und zum Verständnis maximaler und tatsächlicher Expositionen der allgemeinen Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern in umweltrelevanten Situationen beitragen. Hinweise zur fachgerechten Anwendung von Messmitteln und Vorschläge für Mess- und Berechnungsverfahren unter Strahlenschutzgesichtspunkten wurden für unterschiedliche Anwendungen elektromagnetischer Felder erarbeitet; sie können in Zukunft für qualitativ hochwertige und untereinander vergleichbare Expositionsbestimmungen angewendet werden. Neben den beiden Mobilfunkstandards GSM und UMTS wurden Expositionen durch neue Technologien wie z. B. DVB-T, WLAN, DECT oder Bluetooth untersucht, so dass insgesamt ein breites Spektrum technischer Anwendungen elektromagnetischer Felder abgedeckt wurde, die heutzutage das tägliche Leben bestimmen.

Wenn neue drahtlose Übertragungsverfahren zusätzlich zu bereits vorhandenen in Betrieb genommen werden, ist mit einer Zunahme von Expositionen zu rechnen. Wie am Beispiel der Einführung des digitalen terrestrischen Fernsehgrundfunks DVB-T gezeigt werden konnte, kann auch der Umstieg auf eine hochfrequenztechnisch effizientere neue Technologie mit einer Expositionserhöhung verbunden sein. So hat sich der Medianwert der an 200 statistisch verteilten Messorten im Raum München und Nürnberg erhobenen Expositionen im Zuge der Einführung von DVB-T auf einen Wert von 5,1  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  verviunffacht. Der insgesamt höchste ermittelte Immissionswert unter Berücksichtigung auch der Beiträge des Tonrundfunks betrug nach der Umstellung auf DVB-

T 4,7 mW/m<sup>2</sup>. Messungen in unmittelbarer Nähe eines Fernmeldeturmes ergaben einen Maximalwert von 6,6 mW/m<sup>2</sup> (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. III.1.1). Die an den Unterschieden zwischen mittleren und maximalen Messwerten erkennbare große Streubreite möglicher Expositionen fand sich auch in den Untersuchungen der Immissionen von Mobilfunkbasisstationen wieder. So wurden z. B. an systematisch ausgesuchten Messpunkten in der Umgebung von Standorten mit kombinierten GSM- und UMTS-Sendeanlagen mittels der in zwei Projekten des DMF entwickelten Messverfahren auf höchste Anlagenleistung bezogene maximale Werte in Höhe von 69,3 mW/m<sup>2</sup> für UMTS und 78,3 mW/m<sup>2</sup> für GSM gefunden. Die Medianwerte lagen in dieser Untersuchung bei 0,5 mW/m<sup>2</sup> bzw. bei 1,5 mW/m<sup>2</sup> (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. III.1.1). Die Zusammenschau der Studien um ortsfeste Sendeanlagen zeigt, dass die Expositionen zwar einer großen Streubreite mit bis zu ca. 60 dB (Faktor 1.000.000) unterliegen, aber nach wie vor deutlich unterhalb der bestehenden Grenzwerte liegen. So lagen auch die höchsten gefundenen und auf maximale Anlagenlast extrapolierten Werte der unterschiedlichen untersuchten Systeme jeweils mehr als eine Größenordnung unterhalb der Grenzwerte. Die oft geforderte Einrichtung eines flächendeckenden Immissionskatasters wird aufgrund der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität der Expositionen aus Sicht des BfS nicht befürwortet.

Grenzwertnahe Expositionen sind beim Betrieb von vergleichsweise leistungsstarken Sendegeräten, wie z. B. Mobiltelefonen, am bzw. nahe am eigenen Körper möglich. Die Exposition von Personen im näheren Umfeld ist hingegen gering, vergleichbar mit der Exposition in der Umgebung von ortsfesten Sendeanlagen. Insbesondere kann auch bei gleichzeitigem Sendebetrieb einer großen Anzahl von Mobiltelefonen auf engem Raum, z. B. in öffentlichen Verkehrsmitteln, eine Überschreitung der empfohlenen Expositionsgrenzwerte ausgeschlossen werden. Durchgeführte Untersuchungen entkräften entsprechende vor Beginn des DMF geäußerte Bedenken (Hondou, 2002). Bestätigt haben sich Forschungsergebnisse, nach denen die Erwärmung, die häufig beim Betrieb von Mobilfunkgeräten am Kopf fühlbar ist, primär auf eine verminderte Wärmekonvektion und nicht auf die ins Gewebe eingetragene Leistung zurückzuführen ist (Bernardi *et al.*, 2001; Gandhi *et al.*, 2001). Der Temperaturanstieg in inneren Organen des Kopfes und des Rumpfes bei der Benutzung von üblichen Sendern nahe am Körper liegt gemäß den durchgeführten Untersuchungen in der Größenordnung von 0,1 °C und darunter. Die den Grenzwerten zugrunde liegende Mittelung der Spezifischen Absorptionsrate SAR über 10 g Gewebemasse hat sich im untersuchten Frequenzbereich von 400 MHz bis 5 GHz als konservatives Konzept zur Vermeidung ausgeprägter, lokal begrenzter Gewebeerwärmungen bestätigt (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. III.1.2).

Bei der Verwendung von Mobiltelefonen in einer typischen Telefonierhaltung am Kopf ist durch den für jedes Modell normgerecht zu bestimmenden SAR-Wert eine ausreichende Begrenzung der Exposition gegeben. Unter Realbedingungen wird die tatsächliche Exposition des Nutzers u. a. auch durch die vom Mobilfunknetz gesteuerte Sendeleistungsregelung beeinflusst. Untersuchungen im DMF haben gezeigt, dass Geräte im GSM-Betrieb den maximalen Sendeleistungspegel je nach Netzversorgung zwischen 5 % und 30 % der Gesprächsdauer erreichten. In städtischen Bereichen waren die Sendeleistungspegel tendenziell niedriger als in ländlichen Gebieten. Bei schlechter Netzversorgung wurden zeitlich gemittelte Sendeleistungspegel bis 70 % des maximal möglichen Pegels ermittelt. Bei UMTS wurden deutlich niedrigere Sendeleistungspegel und damit verbundene SAR-Werte ermittelt (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. III.1.2).

Elektromagnetische Felder von Geräten, die vornehmlich zur drahtlosen Übertragung von Sprache und Daten in Haushalt und Büro genutzt werden, bewirkten nur geringe Expositionen. Auch bei gleichzeitigem Sendebetrieb mehrerer körperfern betriebener Geräte ergaben Untersuchungen Gesamtexpositionen deutlich unterhalb der geltenden Grenzwerte. Nach den Untersuchungen zu WLAN Einsteckkarten für Notebooks und Bluetooth-USB-Sticks der höchsten Leistungsklasse lagen typische Expositionen jeweils unter 10 mW/kg. Auch unter ungünstigsten Bedingungen ist somit bei diesen Geräten eine Überschreitung von Expositionsgrenzwerten unwahrscheinlich (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. III.1.2). Die körpernah betriebenen Geräte verursachen in der Regel höhere Expositionen als weiter entfernt betriebene Quellen. Fragen der Gesamtexposition in komplizierten Szenarien mit mehreren unterschiedlichen Quellen sind jedoch noch nicht abschließend beantwortet und werden weiter verfolgt.

Für die biologischen und epidemiologischen Projekte wurden dosimetrische Verfahren nach Stand von Wissenschaft und Technik entwickelt. Die Zusammenarbeit von Experten aus Biologie, Epidemiologie und Hochfrequenztechnik konnte insgesamt verbessert werden. Anatomische, hoch aufgelöste Körpermodelle von exponierten Versuchstieren wurden erstellt und lieferten wichtige Hinweise zur Frage der Übertragbarkeit von Expositionsverhältnissen in Tierversuchen auf den Menschen. Als Zielgrößen wurden hierbei neben dem Ganzkörper-SAR-Wert räumliche SAR-Spitzenwerte und organspezifische SAR-Werte identifiziert. Bereits existierende Modelle für den Menschen wurden verfeinert. Ziel war es Organe die gegenüber elektromagnetischen Feldern als besonders empfindlich oder besonders exponiert angesehen wurden, wie das Auge, das Innenohr oder die Pinealdrüse, genauer zu modellieren. Dabei wurde auch lokal keine wesentlich überhöhte Exposition dieser Organe gefunden (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. III.1.2). Vorläufige, noch zu validierende Ergebnisse einer Untersuchung an anatomischen Kopfmodellen von Kindern ergaben erste Hinweise, dass in einigen Regionen des kindlichen Kopfes höhere SAR-Werte auftreten können als im Erwachsenen-Modell.

Modellberechnungen zur Mikrodosimetrie im subzellulären Bereich haben gezeigt, dass die Energieabsorption in der Zellmembran von deren geschichteter Struktur und richtungsabhängigen Eigenschaften abhängt. Die aufgrund eines verbesserten geschichteten Modells berechnete Energieabsorption in der Zellmembran ist bis zu zehnfach größer als die für homogene Zellmembranen berechnete Energieabsorption, was u. a. durch das in der Membran gebundene Wasser verursacht wird. Infolge der räumlichen Verhältnisse und der Wärmeleitfähigkeit des Zytoplasmas ist der resultierende Temperaturanstieg in der Zellmembran jedoch sehr gering und deutet nicht auf negative gesundheitliche Auswirkungen hin.

Die epidemiologischen Projekte wurden in Fragen der individuellen Expositionsabschätzung unterstützt. Rechenverfahren wurden entwickelt und eingesetzt, um möglicherweise höher oder niedriger exponierte Personen auszuwählen. Eine weitergehende Differenzierung erscheint derzeit nicht möglich und es muss mit einer verbleibenden Fehlklassifizierung gerechnet werden. Grundsätzliche Schwierigkeiten bestehen darin, Rundfunksender, Mobilfunksender, historische Expositionen und Expositionen durch persönliche drahtlose Kommunikationsgeräte in einem Gesamtexpositionsmaß zu berücksichtigen. Die im Laufe des DMF auf den Markt gekommenen Personendosimeter sind diesbezüglich als Fortschritt zu werten (Einzelheiten siehe Anhang 1, Kap. II.1.1).

### **6.3 OFFENE FRAGEN**

Ergebnisse der im DMF durchgeführten Studien zu Teilkörperexpositionen werfen Fragen bezüglich möglicher Temperaturerhöhungen bei Expositionen in Höhe der aktuellen Basisgrenzwerte für beruflich Exponierte an Arbeitsplätzen mit starken Feldquellen auf. Fragen der Gesamtexposition in komplizierten Szenarien mit mehreren unterschiedlichen Quellen sind noch nicht abschließend beantwortet. Im Zusammenhang mit der Exposition der allgemeinen Bevölkerung bleiben Fragen hinsichtlich maximaler und typischer Expositionen durch neue Technologien grundsätzlich bestehen.

## **7. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR RISIKOKOMMUNIKATION**

### **7.1 ERKENNTNISSTAND ZU BEGINN DES DMF**

Themen der gesellschaftlichen Wahrnehmung von Risiken und Aspekte der Risikokommunikation wurden bereits in den 90er Jahren im Rahmen der sozialwissenschaftlichen und psychologischen Forschung untersucht. Mit Zunahme der öffentlichen Aufmerksamkeit für das Thema Mobilfunk seit Ende der 1990er Jahre, die sich u. a. in verstärkten Aktivitäten von Bürgerinitiativen und einer vermehrten Berichterstattung in den Medien widerspiegelte, wurde auch die Forschung zu diesem Thema intensiviert.

Erkenntnisse über den gesamtgesellschaftlichen Umgang mit der Mobilfunk-Thematik waren zu Beginn des DMF nur begrenzt vorhanden. Ziel der DMF-Studien war es, die gesellschaftliche Wahrnehmung des Themas „elektromagnetische Felder des Mobilfunks in Deutschland“ insgesamt und in spezifischen Gruppen zu beleuchten. Aus den Erkenntnissen sollten Rückschlüsse auf wichtige Zielgruppen und mögliche Verbesserungen in der Risikokommunikation gezogen werden. Insbesondere auf der lokalen Ebene zeigten sich Probleme in der (Risiko-) Kommunikation mit den Bürgern im Zusammenhang mit der Errichtung von Mobilfunksendeanlagen. Die im Rahmen des DMF durchgeführten Studien sollen die Kommunen in ihrer Risikokommunikation mit dem Bürger unterstützen.

### **7.2 ERGEBNISSE**

Die im Rahmen des DMF durchgeführten Studien bieten eine umfangreiche Wissensbasis über die Wahrnehmung des Themas Mobilfunk in der allgemeinen Bevölkerung und in verschiedenen Subgruppen. Zusätzliche Fragen können durch eine weitergehende Analyse der vorhandenen Erkenntnisse beantwortet werden.

Bezogen auf die Gesamtgesellschaft zeigt die Auswertung der jährlichen Umfragen eine deutliche Stabilität des Ausmaßes der öffentlichen Besorgnis und der empfundenen gesundheitlichen Beeinträchtigung durch Mobilfunk über die Jahre hinweg. Eine deutliche Stabilität ist auch in der vergleichenden Risikowahrnehmung zahlreicher verschiedener möglicher Gesundheitsrisiken zu erkennen. So werden z. B. die gesundheitlichen Risiken von Luftverschmutzung, UV-Strahlung oder gentechnisch veränderten Lebensmitteln höher eingeschätzt als die elektromagnetischer Felder. Dennoch sind in bestimmten Subgruppen die Sorge bzgl. elektromagnetischer Felder und die wahrgenommene Beeinträchtigung hoch. Mobilfunksendeanlagen stehen dabei insgesamt mehr im Fokus der Aufmerksamkeit als Handys, nicht zuletzt aufgrund der mangelnden Kontrollierbarkeit bzw. der Unfreiwilligkeit der Exposition. Die Untersuchungen machen aber auch deutlich, dass Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder für den überwiegenden Teil der Bevölkerung keine Rolle spielen. Nur bei einem sehr geringen Teil der Bevölkerung stellen sie eine feststehende und auch belastende Gegebenheit im täglichen Leben dar. Dementsprechend ist die Aufmerksamkeit bzw. das Informationsbedürfnis und die Bereitschaft, sich mit Informationen zu dem Thema auseinanderzusetzen, beim Großteil der Bevölkerung recht gering (s. Kap. IV.1).

Grundsätzlich wird anhand der Untersuchungsergebnisse deutlich, dass nicht an der Quantität, sondern an der Qualität von Kommunikationsmaßnahmen angesetzt werden muss, um Informationen für spezifische Zielgruppen zugänglich, verständlich und glaubwürdig zu gestalten. Dabei sollte sich jede Institution darüber bewusst werden, bei welchen Gruppen ihre Informationen überhaupt eine Chance haben, wahrgenommen und evtl. auch verwertet zu werden. Entscheidungen über die jeweils wichtigen Zielgruppen müssen bewusst getroffen werden. Bei der Erstellung von Informationsmaterialien muss den spezifischen und unterschiedlich motivierten Informationsbedürfnissen verschiedener Gruppen in differenzierterer Form entsprochen werden. Dies betrifft sowohl den Inhalt als auch die Ausgestaltung und das Medium zur Mitteilung der Maßnahmen (s. Kap. IV.2).

So benötigen z. B. stark besorgte Bevölkerungsgruppen spezifische, auf ihre Sorgen und Bedürfnisse abgestimmte Informationen, wie z. B. Empfehlungen, wie sie ihre persönliche Exposition reduzieren können – ungeachtet der Frage eines ursächlichen Zusammenhangs zwischen Exposition und gesundheitlichen Wirkungen.

Grundsätzlich muss in der Wissenschafts- und Risikokommunikation noch stärker auf die Erläuterung der für Laien weitgehend unbekanntem Expertenterminologie geachtet werden, ebenso wie auf die unterschiedliche Verwendung von Begriffen (wie z. B. „Risiko“) durch Experten und Laien.

Kommunale Vertreter können einen wichtigen Beitrag zu einer guten Risikokommunikation und den Umgang mit Standortkonflikten auf lokaler Ebene leisten. Als geeigneter Rahmen für die Kooperation und Kommunikation der Akteure dienen sowohl die freiwillige Selbstverpflichtung zwischen den Netzbetreibern und der Bundesregierung als auch die entsprechenden Vereinbarungen auf Länderebene. Die im Rahmen des DMF erarbeiteten Erkenntnisse und der neu erstellte Mobilfunk-Ratgeber für Kommunen ([www.ratgeber-mobilfunk.de](http://www.ratgeber-mobilfunk.de); s. Kap. IV.3.2) können insbesondere für kleinere und ländliche Kommunen Unterstützung bieten. Eine wichtige Aufgabe bleibt auf Seiten der Kommunen, die nötigen sozialen und kommunikativen Kompetenzen für eine Verbesserung des Dialogs sowohl mit den Netzbetreibern, als auch mit den Bürgern aufzubauen. Im Vordergrund steht dabei z. B. die frühzeitige Information der Bürger über die Standortplanungen, die Schaffung von Transparenz, das Eingehen auf Besorgnisse von Bürgern und die Berücksichtigung derer Interessen soweit möglich. Beteiligte mit widersprüchlichen Interessen „an einen Tisch zu holen“ sollte von den Kommunen als eine selbstverständliche Maßnahme zur Konfliktlösung angesehen werden. Für Diskussionen um Themen des Risikos bzw. der Gesundheit sollten Kommunen Fachkompetenz von außen hinzuziehen, da sie diese selten selbst in ausreichendem Maß vorhalten können (s. Kap. IV.3).

Als spezielles Informationsangebot zu verschiedenen Fragestellungen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern wurde das Internet-Informationssystem EMF-Portal ([www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de)) eingerichtet, um interessensunabhängig wissenschaftliche Informationen für verschiedene Stakeholder, Wissenschaftler, Entscheidungsträger und wissenschaftliche Laien zur Verfügung zu stellen. Insbesondere beruflichen Nutzern mit einem gewissen Hintergrundwissen bietet das EMF-Portal eine gute Informationsquelle, da es einen schnellen Überblick über den aktuellen Stand neuer wissenschaftlicher Publikationen ermöglicht. Die Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit für interessierte Laien wird angestrebt, insbesondere im Sinne einer stärkeren Hilfestellung zur Bewertung von Studien (s. Kap. IV.4).

### 7.3 OFFENE FRAGEN

Die offenen Fragen bzw. Erfordernisse betreffen zum Einen die konkrete zielgruppengerechte Ausgestaltung von Kommunikationsmaßnahmen. Mehr Wissen ist noch erforderlich über die Kriterien Laien-orientierter, verständlicher und glaubwürdiger Informationen, und darüber, welche konkreten Inhalte dem Informationsbedürfnis bestimmter Bevölkerungsgruppen entsprechen. Weitere Erkenntnisse über die Entstehung von Besorgnis und die Rolle von Emotionen in der Risikowahrnehmung sind für den Umgang mit Personengruppen unterschiedlicher Überzeugungen hilfreich. Näher zu untersuchen ist auch die tatsächliche Bedeutung von Vertrauen, Glaubwürdigkeit und Akzeptanz in der – oftmals im unpersönlichen Rahmen stattfindenden – Risikokommunikation, sowie konkrete Möglichkeiten, diese aktiv zu steigern. Das in der Praxis häufig auftretende Problem der Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten und der Grenzen wissenschaftlicher Beweisführung (z. B. Beweis der Nicht-Existenz von Risiken) muss näher untersucht werden. Das BfS wird diese Fragestellung im Rahmen des Umweltforschungsplans weiter verfolgen. Der Umgang mit wichtigen Multiplikatoren, wie z. B. Ärzten, muss weiter verbessert werden. Das BfS hat dazu im Rahmen des Umweltforschungsplans die Durchführung einer Befragung deutscher Allgemeinmediziner (niedergelassene Ärzte bzw. Hausärzte) beauftragt. Ziel ist es festzustellen, welche Rolle das Thema EMF als möglicher Beschwerdeverursacher allgemein in deutschen Arztpraxen spielt und wie Ärzte damit umgehen. Zudem soll der Informationsstand und der evtl. bestehende Informationsbedarf von Allgemeinmedizinern im Bereich EMF ermittelt werden.

Zum Anderen muss verstärkt aus den bisher gewonnenen Erfahrungen Nutzen gezogen werden. Die verstärkte Evaluation von Maßnahmen könnte deren Bedeutung für die Risikokommunikation und den Einfluss auf die Wahrnehmung verschiedener Zielgruppen aufzeigen. Zudem könnten ein verstärkter internationaler Austausch über Vorgehensweisen und Erfahrungen bei der Risikokommunikation sowie international vergleichende Untersuchungen zu Risikowahrnehmung weitere Hinweise für eine verbesserte Risikokommunikation liefern.

## ANHANG 1 (ANNEX 1)

### BEWERTUNG DER STUDIEN DES DEUTSCHEN MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMMS (MINUTES)

#### I. BEWERTUNG DER STUDIEN AUS DEM BEREICH BIOLOGIE

##### I.1. KREBS

Bei der Krebsentstehung handelt es sich um einen mehrstufigen Prozess. Der erste Schritt, die Initiation, setzt eine Schädigung der DNS voraus, z. B. durch genotoxische Chemikalien, ionisierende Strahlung, UV-Strahlung oder bestimmte Viren. Für diese Form direkter Schädigung ist die Energie elektromagnetischer Strahlung zu gering. Nicht abschließend geklärt ist die Frage, ob hochfrequente elektromagnetische Felder die weiteren Phasen der Krebsentwicklung (Promotion, Progression oder Metastasierung) beeinflussen können.

1997 beschrieb Repacholi in einem transgenen Tiermodell, E $\mu$ -Pim1 Mäusen, nach einer Langzeitexposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks eine signifikant erhöhte Entwicklung von Lymphomen, einer Krebserkrankung des blutbildenden Systems (Repacholi *et al.* 1997). Diesen Ergebnissen wurde im Rahmen des DMF in einem anerkannten Tiermodell, der AKR/J-Maus, nachgegangen („Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder“). Ein Folgeprojekt mit gleichem Studiendesign erfolgte unter UMTS-Exposition, so dass erstmals Wirkungen hochfrequenter Felder unterschiedlicher Signalcharakteristik verglichen werden konnten („*in vivo*-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese“).

Die Untersuchungen umfassten den Zeitverlauf des Auftretens der Erkrankung, die laufende Registrierung des Körpergewichts, die regelmäßige Analyse des Blutbildes, die Erfassung der Überlebensdauer sowie pathologische und histologische Parameter. Die Tiere wurden chronisch, d. h. 24 h / Tag, 250 Tage, nach UMTS- bzw. GSM-Standard, SAR 0.4 W/kg exponiert bzw. scheinexponiert. Ab dem 6. Lebensmonat wurden regelmäßig Blutproben entnommen und analysiert. Weiterhin wurden histologische Untersuchungen durchgeführt und ebenso wie die Differentialblutbilder zur Bewertung herangezogen.

Der zeitliche Verlauf der Überlebenskurven der 3 Gruppen (Käfigkontrollen, scheinexponierte und chronisch exponierte Tiere) sowie die mittlere Überlebenszeit unterschieden sich nicht. Im Fall der UMTS-Exposition erreichten signifikant *mehr* exponierte als scheinexponierte Tiere das Ende der Expositionszeit, ohne bis dahin erkennbare Krankheitssymptome zu entwickeln. Allerdings wiesen auch diese Tiere bei näherer Untersuchung pathologische Veränderungen an Milz, Leber und Thymus auf. Der Teilbefund sollte also nicht im Sinne einer „positiven“ Wirkung der UMTS-Exposition überinterpretiert werden.

Es zeigten sich keine Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Tieren bei den histologischen Untersuchungen. Die krankheitsbedingten Veränderungen des Blutbildes traten in exponierten und scheinexponierten Tieren gleichermaßen auf. Nur im Fall der GSM-exponierten Tiere wurde eine leichte, aber signifikante Erhöhung des relativen Körpergewichts (Endgewicht im Vergleich zum Anfangsgewicht) beobachtet. Ob dies auf eine Beeinflussung des Metabolismus der Tiere durch die Exposition zurückgeführt werden kann, wurde in einem gesonderten Projekt untersucht („Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)“. Allerdings wurden weder in der *in vivo* Studie zur Blut-Hirn-Schranke noch in der tierexperimentellen Langzeitstudie Gewichtsunterschiede der exponierten Tiere im Vergleich zu den Kontrollen beobachtet.

Insgesamt wurden in den genannten Studien keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen festgestellt, die auf eine Beeinflussung der Tumorentwicklung durch die chronische Ganzkörperexposition mit GSM-900 oder UMTS (SAR 0.4 W/kg) hindeuten würden.

Mittlerweile liegen mehrere Studien vor, die die Ergebnisse von Repacholi *et al.* nicht stützen, so eine Studie von Utteridge *et al.* (2002) und eine Studie von Oberto *et al.* (2007), die mit dem gleichen, auch von Repacholi untersuchten Mausstamm (E $\mu$ -Pim1) durchgeführt wurden und insgesamt keinen Einfluss einer 18-monatigen GSM-Exposition (0.5, 1.4 und 4 W/kg) auf Lymphominzidenzen zeigen, so dass sich in diesem Punkt ein recht konsistentes Bild ergibt.

Der mögliche Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Krebsentwicklung wurde auch in mehreren epidemiologischen Studien untersucht (siehe Kap. II).

## **I.2. WIRKUNGEN AUF ZELLEBENE (GENTOXIZITÄT, GENEXPRESSION, ZELL-FUNKTIONEN)**

Die hier beschriebenen, zu den Endpunkten Genotoxizität und differentielle Genexpression durchgeführten Zellkultur-Studien laufen zeitlich über den Abschluss des DMF hinaus. Die Bewertung der Ergebnisse dieser Studien erfolgt gesondert.

### **I.2.1 Genotoxizität**

Zellkultur-Studien (*in vitro*) dienen der Untersuchung möglicher Wirkmechanismen oder molekularer Zielstrukturen. Sie ermöglichen für sich genommen keine direkten Schlüsse auf gesundheitliche Effekte im Menschen.

Als Trägerin der Erbinformationen stellt die DNS jedoch eine relevante molekulare Zielstruktur dar. Eine Schädigung kann weitreichende biologische Folgen haben, bis hin zur Entstehung von Krebszellen. Generell reicht die Quantenenergie elektromagnetischer Felder – anders als z. B. bei UV-Strahlung oder ionisierender Strahlung - nicht aus, um direkt DNS-Strangbrüche zu erzeugen. Indirekte Wirkungen z. B. auf die komplexen DNS-Reparaturmechanismen, den Kernspindelapparat oder den oxidativen Status der Zellen sind jedoch nicht ausgeschlossen. Hinweise auf einen möglichen, zugrundeliegenden biophysikalischen Wirkmechanismus liegen allerdings nicht vor. Bedingt durch verschiedene Versuchsdesigns (unterschiedliche Zielzellen, Expositionsbedingungen, Methodenwahl), oft auch aufgrund statistisch unzureichender Zellzahl oder unzulänglicher Expositionsermittlung ergibt sich kein konsistentes Gesamtbild. Während die Mehrheit der nach wissenschaftlichen Kriterien veröffentlichten Studien bei Expositionen mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern keine Hinweise auf Chromosomenaberrationen, Entstehung von Mikrokernen, Schwesterchromatidaustausche oder DNS-Strangbrüche unterhalb der Grenzwerte liefert (Vijayalaxmi und Obe, 2004), wiesen Ergebnissen des REFLEX-Forschungsverbundes des 5. EU-Rahmenprogramms auf DNS-schädigende Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder hin (Diem *et al.* 2005).

Als Ergebnis einer auf einem internationalen Workshop (Genetic and cytogenetic aspects of RF-field interaction, FGF-Workshop, Loewenstein, Germany, 24. – 27. Nov. 2002) geführten Diskussion wurde eine Empfehlung der COST 281 (European Cooperation in Science and Technology) erarbeitet. Kern der Empfehlung war, eine international koordinierte Multi-Center-Studie an mehreren Zelltypen durchzuführen, um die vorliegenden, inkonsistenten Ergebnisse durch eine qualitativ hochwertige, parallel in mehreren Labors durchgeführte Studie abzuklären. Diese internationale Kooperation wurde leider nicht realisiert. Im DMF wurde deshalb eine Studie begonnen, die Teile der COST-Empfehlung aufgreift („Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut“). Mögliche genotoxische Effekte „gepulster“ GSM-1800 Mobilfunksignale wurden in peripheren Lymphozyten erwachsener und jugendlicher Spender untersucht. Um auch möglicherweise empfindlichere Zellzyklusphasen zu erfassen, wurde die Exposition an zur Teilung stimulierten Zellen durchgeführt. Dies ist ein Unterschied zu den meisten der vorliegenden Studien, die nicht teilungsaktive Lymphozyten untersuchten. Untersucht wurden strukturelle Chromosomenaberrationen, Mikrokern, Schwesterchromatidaustausche und DNS-Strangbrüche. Hierdurch wurde das mögliche genotoxische Schadensspektrum umfassend abgedeckt. Die Befeldung der stimulierten Zellen erfolgte nach GSM-1800-Standard, SAR 0, 0,2, 2 und 10 W/kg intermittierend 5 min an / 10 min aus (letzteres in Anlehnung an das „REFLEX-Szenario“). Die zentral gefertigten Präparate wurden parallel in drei unabhängigen Labors analysiert. Dies ermöglichte einen Qualitätsvergleich und das rechtzeitige Aufdecken von Fehlern und Mängeln bei der Präparatherstellung und der Auswertung. Allerdings konnte mit diesem aufwändigen Verfahren im Rahmen des DMF nur ein Zelltyp (hier: stimulierte Lymphozyten) untersucht werden.

Die Untersuchung genotoxischer Effekte in einem zweiten Zellsystem, humanen Fibroblasten, wird außerhalb des DMF im Rahmen des Umweltforschungsplans durchgeführt. Ergebnisse werden Mitte 2010 erwartet.

Im internationalen Rahmen wurde zwischenzeitlich versucht, die Ergebnisse einer der am REFLEX-Programm beteiligten Arbeitsgruppen bezüglich genotoxischer Effekte in Fibroblasten zu reproduzieren. Dies gelang bisher jedoch weder für die Niederfrequenz (Scarfi *et al.* 2005), noch für die Hochfrequenz (Speit *et al.* 2007), wobei letztere Studie aufgrund der in Diem *et al.* 2005 publizierten Angaben eine Exposition mit „continuous wave“, d. h. einem „ungepulsten“ Signal verwendete. Bezüglich genschädigender Effekte bleibt festzuhalten, dass diese nach wie vor nur in bestimmten Zelltypen, unter bestimmten Expositionsszenarien (intermittierend, aber nicht durchgehend) bzw. nur bei bestimmten SAR-Werten („Fenstereffekt“) beobachtet wurden und bisher nicht unabhängig reproduziert werden konnten. Zudem liegen mehrere belastbare negative Studien an nicht stimulierten Lymphozyten vor, in denen keine genschädigenden Effekte von HF-Strahlung gefunden wurden, so dass sich bezüglich dieses Zellsystems ein relativ konsistentes Bild ergibt (Wang *et al.* 2005, Scarfi *et al.* 2006, Stronati *et al.* 2006, Zeni *et al.* 2007).

## 1.2.2 Genexpression

In mehreren *in vitro* Arbeiten werden Effekte auf die differentielle Genexpression in unterschiedlichen Zellsystemen beschrieben, wobei die Ergebnisse jedoch häufig widersprüchlich und uneinheitlich sind. Untersuchungen können immer nur einen Teil der komplexen, in einem bestimmten Zelltyp in einem bestimmten Zeitfenster ablaufenden Prozesse erfassen. Zellen reagieren ständig auf externe und interne Reize. Eine solche biologische Reaktion ist nicht gleichzusetzen mit einem gesundheitlich relevanten Effekt. Ihre physiologische Bedeutung muss im Zusammenhang mit dem vorliegenden Gesamtbild erfolgen. Im Zentrum der Diskussionen stehen v. a. Stressproteine und Transkriptionsfaktoren, da ihre Beeinflussung weitreichende Konsequenzen zumindest auf Zellebene, möglicherweise aber auch für den Gesamtorganismus haben kann. Stressproteine stellen ein wesentliches Element der zellulären Verteidigung gegen unterschiedliche Stressoren wie Hitze, oxidativen Stress, toxische Metalle, ionisierende oder UV-Strahlung dar. Leszczynsky *et al.* (2002) zeigen in einem speziellen Zellsystem unter HF-Exposition die Induktion und Phosphorylierung z. B. von Hsp-27, einem kleinen Stressprotein, das auch an der Regulation von Apoptose und an der Stabilisierung sogenannter Stressfasern beteiligt sein soll. Czyz *et al.* (2004) beobachten im Rahmen des REFLEX-Programms in p53-defizienten, nicht jedoch in normalen Wildtypzellen eine Induktion der Stressproteine Hsp 70 und 21 sowie eine Induktion der Protoonkogene c-jun und c-myc. Eine Induktion von Stressproteinen durch hochfrequente elektromagnetische Felder *in vivo* wurde bisher nur bei Feldstärken oberhalb der Grenzwerte beobachtet (Walters *et al.*, 1995; Fritze *et al.* 1997). Die von de Pomerai publizierten Ergebnisse bezüglich einer Induktion von Stressproteinen in transgenen Nematoden bei sehr geringen Feldstärken können von der Arbeitsgruppe offenbar, nachdem Temperaturanstiege in der Expositions-kammer reduziert wurden, nicht mehr reproduziert werden (de Pomerai 2000, 2003; Dawe 2006, 2008). Wegen der biologisch relevanten Fragestellung wird es jedoch als notwendig erachtet, mit Hilfe einer quantitativ und qualitativ abgesicherten Studie zu einer verbesserten Datenlage zu kommen.

Im DMF wurde der Schwerpunkt auf gesamtgenomische Ansätze gelegt. Derartige Untersuchungen bieten die Möglichkeit, ohne sich von vorn herein auf die Untersuchung einer speziellen Hypothese einzuschränken, molekulare Ansatzpunkte („Kandidatengene“) herauszufinden, die dann mit spezifischeren Methoden weiter untersucht werden können. In der zur differentiellen Genexpression durchgeführten Studie („Einfluss von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differentielle Genexpression“) werden Kulturen peripherer Lymphozyten aus Blutproben erwachsener und jugendlicher Spender mit "gepulsten" GSM-1800 Mobilfunksignalen, SAR 0, 0.2, 2 und 5 W/kg exponiert und mögliche Effekte mit einem umfassenden Screening-Ansatz (mRNA-Microarrays) untersucht. Signifikante Ergebnisse aus den Arrays werden durch eine zweite Methode (RT-PCR) abgesichert. Die Studie steht in Verbindung zu der obengenannten Studie zu genotoxischen Effekten, da hier mögliche Wirkungen auf unterschiedlichen Ebenen im gleichen Zellsystem (primäre Lymphozyten humaner Spender) vergleichen lassen. Sollten genotoxische Effekte beobachtet werden, könnte die Genexpressionsstudie Zielmoleküle aufzeigen, die in den Prozess der Entstehung von DNA-Schäden involviert sein können. Andererseits sind die Ergebnisse der Genexpressionsstudie in ihrer physiologischen Bedeutung im Hinblick auf die Ergebnisse der Genotoxizitätsstudie zu bewerten (führen Änderungen der Genexpression tatsächlich zu Effekten auf DNA- bzw. Chromosomenebene oder nicht?)

Die Ergebnisse dieser längerfristig angelegten Studie werden erst nach Abschluss des DMF vorliegen. Eine Bewertung wird deshalb in einem ergänzenden Bericht im Frühjahr 2009 erfolgen.

## 1.2.3 Zelluläre Funktionen

Untersucht wurde die Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks (GSM-1800) auf die Funktion von Zellen des Immunsystems („Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen“). Es wurden vier immunrelevante Zelltypen untersucht (primäre menschliche Monozyten, MM6-Zellen, primäre Lymphozyten und K562-Zellen). Die Zellkulturen wurden mit unterschiedlichen Signalcharakteristika (continuous wave (cw), „gepulst“ 217 Hz, GSM-nonDTX und GSM-DTX) und unterschiedlichen SAR-Werten (0.5, 1, 1.5, 2 und in einigen Tests zusätzlich 5 und 10 W/kg) exponiert. Hinsichtlich Zellvermehrung und Lebensfähigkeit, Zellzyklus, Apoptose ("programmierter Zelltod") sowie Phagozytoseaktivität (Aufnahmen fester Partikel, eine Funktion bestimmter Immunzellen, z. B. von Makrophagen) traten keine Unterschiede zwischen exponierten Zellen und scheinexponierten Kontrollen auf. Eine gesteigerte Produktion des Stressproteins HSP-70 wurde in diesem Zellsystem nicht beobachtet.

Eine Hypothese geht von einer indirekten Verursachung von DNS-Schäden durch hochfrequente oder niederfrequente Felder über die Induktion reaktiver („reaktionsfreudiger“) Sauerstoffverbindungen (ROS, reactive oxygen species) aus. Solche Verbindungen könnten die DNS schädigen, indem Strangbrüche gesetzt oder die DNS-Basen so verändert werden, dass bei der Vermehrung der Zelle Mutationen entstehen. Diese Möglichkeit wurde auch im Rahmen des REFLEX-Programms für die dort beschriebenen genotoxischen Effekte diskutiert. In der im DMF durchgeführten Studie hatte die HF-Befeldung mit unterschiedlichen Signalen bei SAR-Werten unter 2 W/kg in keinem der untersuchten Zelltypen einen Einfluss auf die Produktion freier Sauerstoffradikale. Unterschiede in der ROS-Produktion wurden lediglich mit GSM-DTX in Monozyten und MM6-Zellen, nicht jedoch

in Lymphozyten und K 562 Zellen beobachtet. Der Effekt ist nur im Vergleich mit der scheinexponierten Kontrolle, nicht im Vergleich mit der Brutschrankkontrolle signifikant und beruht offenbar auf einer Verminderung der ROS-Produktion im scheinexponierten Ansatz. Er tritt bei Exposition mit 2 und 10 W/kg auf, nicht jedoch bei 5 W/kg. Weitere Versuche mit unterschiedlichen Frequenzmodulationen des DTX-Signals ergaben - wiederum auch in den Ansätzen mit Schein-Exposition - entweder eine Verminderung oder eine Erhöhung der ROS-Bildung. Die Ursache dieses widersprüchlichen „Schein-Effekts“ war innerhalb des Projekts letztlich nicht aufzuklären. Diskutiert wurde die Möglichkeit eines Zusammenhangs mit den im Experiment bei diesem Signaltyp kurzfristig auftretenden hohen Peak-Werten. Nachteilige Effekte auf die Funktionen der untersuchten Zellen waren nach Einschätzung des BfS insgesamt nicht erkennbar. Diese Ergebnisse stimmen überein mit aktueller Studie von Tuschl *et al.* (2006) und Chauhan *et al.* (2007), die Auswirkungen einer GSM-1800 Exposition auf verschiedene Immunzellen untersuchten.

In einem weiteren Forschungsvorhaben („Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie A. Demodulation/Kommunikation“) wurde der Einfluss von UMTS und continuous wave (cw) auf neuronale Netzwerke aus dem Gehirn der Ratte untersucht. Die Neurone wuchsen auf Silizium-Chips, was die kontinuierliche Registrierung von Nervenimpulsen ermöglichte. Die Zellen wurden in einem Hohlleiter bei SAR Werten von 0,5 – 2 W/kg exponiert. Die Expositionsintensität wurde in Zyklen von 45 min variiert, was zu Temperaturschwankungen um etwa 0,2°C führte. Die Aktivität der neuronalen Netzwerke korrelierte mit der Exposition und folgte den Temperaturveränderungen mit einer Verzögerung von wenigen Minuten. Ein Unterschied zwischen UMTS und cw zeigte sich nicht, was gegen einen Einfluss der Signalstruktur spricht. Dass neuronale Netzwerke auf Temperaturschwankungen von einigen wenigen Zehnteln Grad Celsius reagieren können, steht im Einklang mit den Ergebnissen der Untersuchungen an der Netzhaut (siehe auch Kap. I.4.1) und mit Angaben zu neuronalen Netzwerken aus der Literatur (Adair, 2001). Die thermische Empfindlichkeit biologischer Systeme (Foster und Glaser, 2007) ist im Detail nicht ausreichend erforscht. Um „thermische“ von „nicht-thermischen“ Anteilen berichteter biologischer Effekte besser trennen zu können ist weitere Grundlagenforschung nötig. Forschungsergebnisse aus diesem Bereich sollten weiter verfolgt und bei der Bewertung von Einflüssen auf das Nervensystem, wie z. B. auch das EEG berücksichtigt werden (siehe auch Kap. I.4.3).

### I.3 PINEALDRÜSE / MELATONIN

Das Wirkungsspektrum des Hormons Melatonin ist sehr breit. Aufgrund der synchronisierenden Wirkung auf den Schlaf/Wach-Rhythmus, auf den allgemeinen sowie geschlechtsspezifischen Hormonhaushalt, auf die Körpertemperatur, den Blutdruck und auch das Schmerzempfinden, wurde und wird Melatonin als Schlüsselhormon für zahlreiche Befindlichkeitsstörungen verantwortlich gemacht. Auch die antioxidative Wirkung von Melatonin als Radikalfänger und seine Funktion als Tumoreremmer wird diskutiert und hat viele wissenschaftliche Untersuchungen veranlasst. Untersuchungen zu Melatonin und Feldern der Mobilfunkkommunikation ergeben kein einheitliches Bild. Experimente mit wachen Probanden (deSeze *et al.*, 1999, Mann *et al.*, 1998), die keinen Einfluss der Felder auf den Melatoninspiegel zeigten, können die Hypothese eines Einflusses auf die nächtliche Melatoninsekretion nicht klären. Einzelne Ergebnisse von Tierstudien lassen ebenfalls keine eindeutige Zustimmung oder Ablehnung der Hypothese zur feldbedingten Hemmung der Melatoninsynthese bzw. -sekretion zu. Ein Grund für die inkonsistenten Ergebnisse dürfte in der hohen Speziesvariabilität und saisonal bedingten Schwankungen liegen. Auch beim Menschen variieren die Melatoninkonzentrationen individuell sehr stark. Für die Sekretion und den Metabolismus von Melatonin ist eine Vielzahl von Parametern verantwortlich.

In der im DMF durchgeführten Studie („Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse“) wurde daher an isolierten Pinealorganen des Hamsters der akute Einfluss von Feldern der Mobilfunktechnologie auf die Funktion der Drüse untersucht. Bei 8-stündiger Befeldung mit 0,008 und 0,08 W/kg zeigten sich keinerlei Unterschiede im Vergleich zu den scheinexponierten Kontrollen, weder bei kontinuierlicher Befeldung (cw) noch bei "gepulstem" GSM-Signal. Bei einer Exposition mit 0,8 W/kg trat eine signifikante Erhöhung der Melatoninausschüttung auf, ebenfalls unabhängig von der Art des Signals. Beim höchsten SAR Wert von 2,7 W/kg wurde bei kontinuierlicher Befeldung eine Erhöhung der Melatoninsynthese, bei moduliertem Signal hingegen eine Abnahme beobachtet. Der höchste SAR Wert war gewählt worden, um thermische Effekte (Temperaturerhöhung um 1.2°C) erfassen zu können. Der Forschungsnehmer kommt zu dem Schluss, dass die "Melatoninhypothese", nach der es durch EMF-Expositionen unterhalb der Grenzwerte zu einer verringerten Melatoninproduktion kommen soll, durch die Ergebnisse nicht gestützt wird. Diese Einschätzung wird vom BfS geteilt.

Unterstützt wird das Ergebnis durch eine *in vivo*-Studie (Lerchl *et al.* 2007) an Djungarischen Hamstern, in der nach einer 60-tägigen kontinuierlichen Befeldung mit unterschiedlichen Mobilfunksignalen (TETRA 383 MHz, GSM-900 und GSM-1800) und einem SAR von 0.08 W/kg kein Einfluss auf den Melatoninspiegel (Blut und Pinealdrüse) beobachtet wird.

## I.4 NEUROBIOLOGIE (SINNESORGANE, KOGNITION, EEG, SCHLAF)

### I.4.1 Sinnesorgane

Als empfindliche und während eines Telefonats am stärksten exponierte Sinnesorgane wurden im Rahmen des DMF das visuelle System und das Hörsystem auf ihre Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks untersucht. Das Auge ist während eines Telefonats nicht besonders hoch exponiert (siehe auch Kap. III), es ist aber vor allem gegenüber thermischen Effekten sehr empfindlich. Thermische Einflüsse, die bei hohen SAR-Werten zur Linsentrübung und zum Katarakt führen können, sind schon seit langen etabliert und im Tierexperiment bestätigt (zusammengefasst in Elder, 2003). Im nicht-thermischen Bereich ist bis dato wenig bekannt und es wurde auch wenig untersucht. Aus der Epidemiologie gibt es vage Hinweise, experimentelle Untersuchungen mit einer akzeptablen Qualität liegen nicht vor.

Im Rahmen des DMF wurde der Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks (GSM und UMTS) einerseits unter dem Aspekt der thermischen Empfindlichkeit des Auges, andererseits im Hinblick auf die Tatsache, dass das neuronale Netzwerk der Netzhaut als etabliertes Modellsystem für neuronale Netzwerke im allgemeinen dient, untersucht („[Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane B. Das visuelle System](#)“). Die Untersuchungen wurden mit elektrophysiologischen Methoden an isolierten Netzhäuten von Mäusen bei SAR-Werten von bis zu 20 W/kg durchgeführt. Mit Glaselektroden wurden die Antworten von Gliazellen (Interneurone in der Netzhaut, die den Sehzellen nachgeschaltet sind) auf definierte Lichtreize abgeleitet. Registriert wurden die Antwortlatenzen und die Nervenimpuls-Frequenzen, ausgelöst durch sechs unterschiedliche Lichtintensitäten. Es zeigten sich bei Temperaturveränderungen um etwa 0,2°C einige minimale thermisch bedingte Veränderungen der neuronalen Aktivität der Nervenzellen der Netzhaut, die im normalen physiologischen Bereich lagen. Diese haben keine gesundheitliche Bedeutung, da die Körpertemperatur im Tagesverlauf um etwa 1 °C schwankt. Die Ergebnisse zeigen, dass komplexe neuronale Netzwerke bereits thermischen Veränderungen im Bereich von einigen wenigen Zehntel Grad Celsius folgen können. Dies ist für andere neuronale Netzwerke, wie z. B. das Gehirn, ebenfalls der Fall (siehe Kap. I.2.3). Die während eines Telefonats direkt in der menschlichen Netzhaut auftretende Exposition liegt um Größenordnungen unterhalb der hier untersuchten Exposition von bis zu 20 W/kg. Die beschriebenen thermischen Effekte sind unter Realbedingungen daher nicht zu erwarten. Die vorliegenden Ergebnisse stehen im Einklang mit aktuellen Ergebnissen experimenteller Studien am Menschen: Schmid *et al.* (2005) untersuchten im doppelblinden Design 58 gesunde Probanden unter dem Einfluss der elektromagnetischen Felder nach UMTS-Standard mittels einer kognitiven Testbatterie zur visuellen Wahrnehmung. Irlenbusch *et al.* (2007) untersuchten die visuelle Wahrnehmungsschwelle von 33 Probanden unter dem Einfluss von GSM ebenfalls im randomisierten doppelblinden Verfahren. In beiden Fällen wurde bei einem realistischen Expositionsszenario unterhalb des Grenzwertes von 2 W/kg kein Einfluss der hochfrequenten Felder des Mobilfunks auf das visuelle System von Menschen gefunden.

Im Gegensatz zum Auge ist das Ohr nicht besonders wärmeempfindlich, und enthält auch keine komplexen neuronalen Netzwerke. Der bisher einzige etablierte Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Hörsystem ist das sogenannte „Mikrowellen-Hören“, das bei kurzzeitigen Pulsen mit sehr hoher Feldamplitude als Resultat thermoelastischer Wellen im Gehirn entsteht und zu einer akustischen Wahrnehmung führt (Lin und Wang 2007). Andererseits ist das Ohr das während eines Telefonats am stärksten exponierte Organ. Aus diesem Grund bestand die Vermutung, dass es in Folge der Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern beeinflusst sein könnte. Einige wenige vorläufige wissenschaftliche Publikationen ergaben widersprüchliche Ergebnisse und wiesen z. T. methodische Mängel auf, da sie nicht verblindet und mit qualitativ unzureichenden bzw. nicht dokumentierten Expositionsanlagen durchgeführt wurden. So fanden Ozturan *et al.* (2002) keinen akuten Einfluss der elektromagnetischen Felder nach GSM-Standard auf otoakustische Emissionen (OAE) von Versuchspersonen. Ebenfalls fanden Kizilay *et al.* (2003) keinen Einfluss einer subchronischen Exposition auf OAEs von Ratten, allerdings wurde in der Publikation nicht eindeutig angegeben, in welchem Modus sich das zur Exposition verwendete Mobiltelefon befand. Kellenyi *et al.* (1999) beschrieben erhöhte Hirnstammpotentiale und einen partiellen Hörverlust bei Versuchspersonen nach einer Nahfeldexposition von 15 min, Arai *et al.* (2003) und Bak *et al.* (2003) konnten diesen Befund an einer höheren Zahl von Versuchspersonen und bei längeren Expositionszeiten nicht bestätigen. Vor diesem widersprüchlichen Hintergrund wurde auf EU-Ebene ein umfangreiches Projekt zur Untersuchung des Einflusses elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf das Hörsystem realisiert. Das Projekt GUARD (<http://www.guard.polimi.it/>) untersuchte die elektromagnetischen Felder nach GSM-Standard, das Projekt EMFnEAR (<http://www.emfnear.polimi.it/>) nach UMTS-Standard. In den beiden EU-Vorhaben wurde im doppelblinden Design und mit speziell hierfür entwickelten Expositionsanlagen der Einfluss elektromagnetischer Felder in Tier- und Humanexperimenten untersucht. Dabei konnte übereinstimmend kein Einfluss auf die äußeren Haarzellen, gemessen durch OAEs, bei Menschen und Versuchstieren sowie auf akustisch evozierte Hirnstammpotentiale bei Menschen und Tieren nachgewiesen werden (Uloziene *et al.* 2005, Parazzini *et al.* 2005, 2007b, Paglialonga *et al.* 2007; Galloni *et al.* 2005a,b, Parazzini *et al.* 2007a; Stefanics *et al.* 2007; Aran *et al.* 2004). Weiterhin untersuchten Janssen *et al.* (2005) im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz den Einfluss einer GSM-Exposition auf OAEs von Versuchspersonen und fanden minimale physiologische Reaktionen, die sich an der Nachweisgrenze bewegten und keine gesundheitliche Beeinträchtigung bedeuten. Eine weitere Studie wurde von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und

Arbeitsmedizin (BAuA) durchgeführt (Pau *et al.* 2005, Sievert *et al.* 2005, 2006). Hier wurde kein Einfluss auf die Funktion des Innenohres sowie des Gleichgewichtsorgans bei einer gleichzeitigen Erwärmung im Innenohrbereich während der Exposition um maximal 0,1 °C gefunden. Alle genannten Studien wurden nicht invasiv durchgeführt, d. h. die Parameter der elektrischen Signalübertragung zwischen Hörzellen und dem Hörnerv konnten nicht gemessen werden. Im Rahmen des im DMF durchgeführten Vorhabens („[Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane A. Das Hörsystem](#)“) wurde mittels der patch-clamp Methode die Aktivität der spannungsabhängigen Kalzium-Kanäle der inneren Haarzellen aus der isolierten Hörschnecke von jungen Mäusen gemessen. Innere Haarzellen sind die eigentlichen Hörsinneszellen, sie nehmen akustische Signale wahr, verwandeln sie in elektrische Signale, und geben diese mit Hilfe der genannten Kalzium-Kanäle an nachgeschaltete Nervenzellen des Hörnervs weiter. Dabei spiegeln die spannungsabhängigen Kalzium-Kanäle sehr genau den physiologischen Zustand der inneren Haarzellen wieder und reagieren empfindlich auf deren Schädigung. In diesem sensitiven Untersuchungs-System wurde kein systematischer biologisch relevanter Einfluss elektromagnetischer Felder nach dem GSM-900-, GSM-1800- und UMTS-Standard bei SAR-Werten bis zu 20 W/kg gefunden. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Mehrzahl der o. g. Arbeiten und führt zum Schluss, dass elektromagnetische Felder unter Realbedingungen, bei um Größenordnungen geringeren Expositionen, keinen akuten negativen gesundheitlich relevanten Einfluss auf das Hörsystem haben.

Was eine langfristige Beeinträchtigung des Hörsystems, wie z. B. Hörverlust oder Tinnitus, infolge einer dauerhaften Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern betrifft, gibt es in der Fachliteratur nur wenige und wenig belastbare Angaben. Oktay *et al.* (2004) fanden bei Mitarbeitern von starken TV und Radiosendern gegenüber einer Kontrollgruppe unveränderte Hirnstammpotentiale in Antwort auf akustische Reize, aber eine erhöhte Hörschwelle, die auf einen Hörverlust deutet. Beruflich bedingte Confounder, wie z. B. Lärm, wurden nicht berücksichtigt. Ebenfalls fanden Oktay und Dasdag (2006) einen Hörverlust bei Personen, die häufig Mobiltelefone nutzen. Sie führen diesen Effekt auf elektromagnetische Felder zurück, ohne jedoch die rein hörphysiologischen Konsequenzen des häufigen Telefonierens zu berücksichtigen. In zwei Umfragen unter arabischen Studenten wurden Hörverlust und weitere Symptome beschrieben, wobei diese bei allen beteiligten Personen, auch bei denen, die das Mobiltelefon selten nutzten, auftraten (Meo und Al-Drees, 2005). Eine Kontrollgruppe, die überhaupt kein Mobiltelefon nutzt, wird in dieser Studie nicht erwähnt. Eine weitere Umfrage unter britischen Studenten findet demgegenüber ebenfalls eine sehr hohe Prävalenz der Telefonnutzung, aber keinerlei Zusammenhang mit Hörverlust, anderen Symptomen oder Tinnitus (Davidson und Lutman, 2007). Ansonsten wird explizit Tinnitus in der Fachliteratur kaum erwähnt, Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und Tinnitus stammen überwiegend aus der Bevölkerung, von Selbsthilfegruppen und von mobilfunkkritischen Ärzten.

Im Rahmen des DMF wurde die Möglichkeit, dass die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks Tinnitus auslösen könnten, im Tiermodell experimentell geprüft („[Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen \(Tinnitus\)](#)“). Ratten wurden über vier Wochen hinweg zwei Stunden täglich mit Feldern des GSM-900-Standards bei SAR-Werten im Ohrbereich von bis zu 20 W/kg exponiert. Die Tiere waren darauf dressiert, die Wahrnehmung von Phantomgeräuschen (Tinnitus) durch eine spezifische Verhaltensänderung anzuzeigen. Weiterhin wurde mit molekularbiologischen Methoden in den neuronalen Ganglien des Innenohrs sowie im Gehirn (Höririnde) die Expression bestimmter aktivitätsabhängiger Gene untersucht, da aus der Fachliteratur bekannt ist, dass sich diese beim Auftreten von Tinnitus in einer typischen Weise ändert (Tan *et al.* 2007). Weder im Verhalten noch auf molekularer Ebene (Genexpression) konnten bei den Tieren expositionsbedingte Veränderungen gefunden werden. Die Untersuchungsergebnisse liefern keinen wissenschaftlich begründeten Hinweis, dass hochfrequente elektromagnetische Felder Tinnitus auslösen können, wenn die Grenzwerte eingehalten werden.

## 1.4.2 Kognitive Leistungsfähigkeit

### Humanstudien

Während eines Telefonats kann die Hirnrinde verhältnismäßig hoch – bis zum Grenzwert von 2 W/kg – exponiert sein. Zu diesem Themenkomplex gibt es aus der Fachliteratur mehrere widersprüchliche Hinweise. Ältere, einfach blind durchgeführte Probandenstudien von Preece *et al.* (1999) und Koivisto *et al.* (2000) zeigten wiederholt verkürzte Reaktionszeiten unter dem Einfluss von elektromagnetischen Feldern (GSM). Ein Wiederholungsversuch, der doppelblind durchgeführt wurde, konnte diese Ergebnisse allerdings nicht bestätigen (Haarala *et al.* 2003, 2004).

Es wurde daher im Rahmen des DMF untersucht, ob elektromagnetische Felder die neuronale Aktivität und damit auch die kognitive Leitungsfähigkeit beeinflussen können („[Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen](#)“). Dreißig junge gesunde Männer wurden jeweils drei Tage je 8 Stunden lang randomisiert im doppelblinden Design mit simulierten Feldern eines Mobiltelefons nach GSM-900- und UMTS-Standard bei 2 W/kg exponiert sowie scheinexponiert. Es wurden täglich während der Exposition jeweils vormittags und nachmittags je acht Kognitionstests zu Reaktionsfähigkeit, Wachsamkeit und

Gedächtnis durchgeführt. Es konnte kein signifikanter Einfluss der Exposition auf die mittels Verhaltensreaktionen gemessene kognitive Leistungsfähigkeit bestätigt werden. Einen durchgehenden und eindeutig signifikanten Einfluss hatte die Tageszeit, zu der die Tests durchgeführt wurden, im Sinne erhöhter Wachsamkeit, verkürzter Reaktionszeiten und verbesserter Leistungsfähigkeit am Nachmittag. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass elektromagnetische Felder des Mobilfunks keinen Einfluss auf Verhaltensparameter der kognitiven Leistungsfähigkeit haben.

Die erzielten Ergebnisse sind im Einklang mit den Arbeiten von Haarala *et al.* (2003, 2004). Hierbei wurden in zwei unabhängigen Labors in Finnland und Schweden jeweils 32 Männer unter dem Einfluss einer Nahfeldexposition bei 900 MHz untersucht. Während einer einstündigen Exposition oder Scheinexposition wurden unterschiedlich anspruchsvolle Gedächtnistests durchgeführt, wobei die Reaktionszeiten und die Genauigkeit der Antworten registriert wurden. Eine vergleichbare Studie wurde ebenfalls parallel in zwei Labors an Kindern im Alter von 10 – 14 Jahren durchgeführt (Haarala *et al.* 2005, Preece *et al.* 2005). Auch hier wurde kein Einfluss einer GSM Exposition auf das Gedächtnis und die Reaktionsfähigkeit gefunden. Andererseits fanden Curcio *et al.* (2004) in einer doppelblind durchgeführten Studie an 20 jungen Probanden leicht verkürzte Reaktionszeiten, die mit einer leichten Temperaturerhöhung im Bereich des Trommelfells (0,15 °C) zeitlich korrelierten. Regel *et al.* (2007) fanden bei 24 gesunden jungen Probanden verkürzte Reaktionszeiten nach einer 30 min Exposition mit einem GSM-Nahfeld, aber keinen Einfluss von continuous wave (cw, „ungepulstes“ Signal). Keetley *et al.* (2006) testeten 120 gesunde Versuchspersonen mit insgesamt acht neuropsychologischen Tests in einem doppelblinden cross-over Design sowohl unter Exposition mit einem GSM Mobiltelefonsignal als auch unter Scheinexposition. Nach der Anpassung für mehrere Kofaktoren (Alter, Geschlecht, Bildungsstatus) wurde eine Beeinträchtigung einfacher und eine Verbesserung komplexer Gehirnfunktionen im Sinne einer Beschleunigung des Arbeitsgedächtnisses gefunden. Eine weitere Studie (Russo *et al.* 2006) untersuchte eine hohe Zahl von 168 Testpersonen, um eine verbesserte statistische Aussagekraft zu erzielen. Es wurden Kognitionstests zu Reaktionszeiten, Wachsamkeit, Selektionsfähigkeit und Gedächtnis durchgeführt. Weder die Exposition an sich, noch die Pulsung (cw oder GSM) oder die exponierte Kopfseite hatten einen Einfluss auf irgendeinen der Tests.

Nachdem die holländische TNO-Studie (Zwamborn *et al.* 2003) Hinweise auf einen möglichen negativen Einfluss des UMTS Standards auf das Wohlbefinden zeigte, wurden in mehreren Ländern ähnliche Studien unter UMTS-Exposition initiiert. Ein simuliertes UMTS-Fernfeld einer Basisstation zeigte marginale Effekte auf Geschwindigkeit und Genauigkeit in der Bearbeitung kognitiver Tests, die nach einer Korrektur für mehrfache Tests (Bonferroni-Korrektur) verschwanden (Regel *et al.* 2006). In einer dänischen Studie wurden 40 Jugendliche und 40 Erwachsene unter dem Einfluss eines UMTS-Fernfeldes untersucht (Riddervold *et al.* 2007). Getestet wurden Reaktionszeiten, visuelle Datenverarbeitung und Gedächtnis; weiterhin wurden subjektive Empfindungen abgefragt. In beiden Gruppen wurde kein signifikanter Einfluss der Exposition gefunden. Die Exposition mit einem UMTS-Nahfeld hatte bei 40 gesunden Probanden keinen Einfluss auf Reaktionszeiten und Aufmerksamkeit (Unterlechner *et al.* 2008).

Bei Würdigung aller publizierten Ergebnisse insgesamt zeichnet sich ab, dass bei höheren Probandenzahlen, konsequenter Verblindung und Anwendung angemessener statistischer Methoden die häufig beobachtete Verkürzung der Reaktionszeit nicht bestätigt werden kann. Die Anzahl positiver Studien ist aber nach wie vor hoch und die widersprüchlichen Ergebnisse sind ungeklärt. Alle beschriebenen Einflüsse, falls sie kausal sein sollten, deuten auf minimale physiologische Reaktionen hin und bedeuten in keinem Fall eine Beeinträchtigung der Gesundheit oder der Leistungsfähigkeit. Da in vielen Studien die Tageszeit als Einflussparameter nicht berücksichtigt wurde, bleibt die Frage offen, ob die inkonsistenten Ergebnisse ggf. darauf zurückzuführen sind.

## **Tierstudien**

Mit der Kognition, d.h. dem Prozess, der Informationsaufnahme und Verarbeitung, der Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Lernen und Gedächtnis umfasst, befassten sich auch tierexperimentelle Studien, wobei insbesondere Ergebnisse der Arbeitsgruppe Lai auf negative Effekte v. a. auf das Gedächtnis bei Ratten hindeuteten (Lai *et al.* 1994; Wang and Lai, 2000).

Im Rahmen des DMF wurde diese Fragestellung mit einer tierexperimentellen Studie („*in vivo*-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen“) untersucht. Im Gegensatz zu Probandenstudien, in denen akute Effekte im Vordergrund stehen, können im Tiermodell Langzeiteffekte erfasst werden. Drei Generationen Wistar-Ratten (F0, F1 und F2) wurden chronisch mit GSM-900- oder UMTS-Feldern mit einer SAR von 0.4 W/kg exponiert. Dieser SAR-Wert schließt einerseits bekannte thermische Effekte auch bei Ganzkörperbefeldung im Tiermodell aus, liegt aber oberhalb des für die Allgemeinbevölkerung geltenden Grenzwertes von 0.08 W/kg. Da die untersuchten Tiere bereits *in utero* exponiert waren, wurden auch pränatale und frühe postnatale Entwicklungsphasen des zentralen Nervensystems und der Blut-Hirn-Schranke von der HF-Exposition erfasst. Die Lernfähigkeit wurde mit Hilfe automatisierter und somit vom subjektiven Verhalten des Experimentators unabhängiger operanter Verhaltenstests und allmählich ansteigenden Lernanforderungen untersucht. Um eine Belohnung zu erhalten, musste entweder besonders schnell („*differential reinforcement of high rate*“, DRH) oder unter Berücksichtigung von Sperrintervallen („*differential reinforcement of low rate*“, DRL) ein Hebel gedrückt werden. Die

Untersuchungen wurden bei den nachtaktiven Tieren in standardisierten Testkammern ("Skinner-Boxen") unter Rechner-Kontrolle während der Nachtstunden durchgeführt. Die zwischen aufeinander folgenden Hebeldrücken auftretenden Zeitintervalle („inter-response intervals“, IRIs) wurden mit einer Auflösung von 1 ms kontinuierlich registriert und ausgewertet. Damit kann die Lernfähigkeit eines einzelnen Versuchstiers nicht nur durch die Effizienz seiner Hebeldrucktätigkeit (d. h. dem Verhältnis von richtigen zu falschen Reaktionen) am Ende einer Testsitzung, sondern auch durch die Dynamik des Lernprozesses selbst ausgedrückt werden. Aus dieser Studie ergeben sich nach Beurteilung des Forschungsnehmers keine Hinweise auf eine negative Beeinflussung der operanten Verhaltens- oder Gedächtnisleistung durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (GSM oder UMTS). Diese Einschätzung wird vom BfS geteilt. Entsprechende Ergebnisse aus einer mit der gleichen Methodik, allerdings bei einem niedrigeren SAR-Wert durchgeführten Studie (Bornhausen und Scheingraber, 2000) werden damit gestützt.

Während aktuell wiederum die Arbeitsgruppe Salford aus einem Test, in dem untersucht wird, in welchem Umfang sich ein Versuchstier mit besser bekannten im Vergleich mit weniger bekannten Objekten befasst, negative Einflüsse auf die Kognition ableitet (Nittby *et al.* 2007) kommen mehrere andere tierexperimentelle Studien zu dem Schluss, dass eine Exposition mit elektromagnetischen Feldern Verhalten und Kognition nicht negativ beeinflusst (Cassel *et al.* 2004; Cosquer *et al.* 2005). Diese hatten versucht, einen von Lai *et al.* (1994) berichteten negativen Effekt auf das räumliche Gedächtnis von Ratten zu reproduzieren, was jedoch nicht gelang. In die gleiche Richtung weisen Arbeiten von Sienkiewicz *et al.* (2000), Yamaguchi *et al.* (2003), Dubreuil *et al.* (2003) und Cobb *et al.* (2004). Eine weitere Studie der Arbeitsgruppe Lai (Wang and Lai, 2000) beschreibt den negativen Effekt einer 1-stündigen HF-Exposition im „water maze“ Test, wobei das Tier eine Plattform in einem Wasserbecken finden muss. Auch dieses Ergebnis der Arbeitsgruppe Lai wird von einer aktuellen Studie von Kumlin *et al.* (2007) nicht gestützt. Dort wurden Wistar-Ratten ab dem Alter von ca. 3 Wochen für 2 h / Tag, 5 Tage / Woche, 5 Wochen lang mit 0, 0,3 und 3 W/kg nach GSM-900-Standard exponiert. Es wurden verschiedene Verhaltens- und Lerntests (open field test, plus maze test, water maze test, acoustic startle response test) durchgeführt, aus denen sich keine Unterschiede zwischen exponierten Tieren und Kontrollen ergaben, mit Ausnahme eines *verbesserten* Lerneffekts im genannten „water maze“ Test. Hier gelang es den exponierten Tieren im Vergleich zur Kontrolle etwas schneller, die Plattform zu finden. Zusätzlich wurden Untersuchungen zu histologischen Veränderungen, Nervenschädigungen oder einer Öffnung der Blut-Hirn-Schranke durchgeführt. Unterschiede zwischen exponierten Tieren und Kontrollen wurden nicht festgestellt. Trotz der in einem vergleichsweise frühen Alter der Tiere begonnenen Exposition könnte auch dieser Studie entgegengehalten werden, dass möglicherweise empfindliche pränatale und frühe postnatale Entwicklungsphasen des Gehirns von der HF-Exposition nicht umfasst werden. Die oben genannte im DMF durchgeführte Langzeitstudie ergänzt die Datenlage somit in einem wesentlichen Punkt. Weiterer Bedarf an tierexperimentellen Studien zu diesem Endpunkt wird derzeit vom BfS nicht gesehen.

### 1.4.3 EEG

Das Elektroenzephalogramm (EEG) ist eine Methode zur Messung elektrischer Hirnströme. Mit Hilfe von mehreren auf die Kopfhaut aufgesetzten Elektroden werden die elektrischen Spannungsunterschiede (Potentialschwankungen) zwischen jeweils zwei Elektroden gemessen, verstärkt und als Hirnstromwellen aufgezeichnet und ausgewertet. Hierzu gehören das Wach-EEG im Ruhezustand, die ebenfalls im Wachzustand abgeleiteten evozierten und ereigniskorrelierten Potentiale, die in Antwort auf sensorische Reize entstehen, und das während des Schlafes abgeleitete Schlaf-EEG.

#### Wach-EEG

Das spontane Wach-EEG wird im wachen (Ruhe)zustand mit offenen oder geschlossenen Augen abgeleitet. Insgesamt ist das Wach-EEG sehr variabel und deswegen schlecht reproduzierbar. Bereits ein Augenaufschlag z. B. verursacht erhebliche Artefakte. Als Erster hat zu Beginn der 90-er Jahre von Klitzing (1995) in einer Reihe von Vorträgen und Publikationen auf eine mögliche Beeinflussung des EEGs beim Menschen durch gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder hingewiesen. Seine Untersuchungen wurden aus methodischen Gründen von Wissenschaftlern kritisiert (Jahre *et al.* 1996), führten aber andererseits zu einer Serie weiterer Untersuchungen.

Im Rahmen des DMF wurde in der bereits unter 1.4.2 erwähnten Studie („[Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen](#)“) während der achtstündigen Tagesexposition auch das Wach-EEG jeweils vormittags und nachmittags bei geschlossenen Augen abgeleitet. Es wurden an insgesamt 19 Elektrodenpositionen je 100 EEG-Parameter erhoben und mit einer Multivarianzanalyse getestet. Bei insgesamt 361 durchgeführten statistischen Tests zeigten sich unter GSM-900 zehn, und unter UMTS-Exposition fünf signifikante Veränderungen, die sich auf unterschiedliche Frequenzen des Alpha Bandes und verschiedene Hirnregionen verteilten. Beim GSM handelte es sich um einen Anstieg der Power, bei UMTS gingen die Veränderungen in beide Richtungen. Als zufällig wären jeweils 18 signifikante Ergebnisse zu erwarten, deswegen werden diese Ergebnisse vom BfS als zufällig gewertet. Einen deutlichen und signifikanten Einfluss auf das Wach-EEG zeigte die Tageszeit. Es ergaben sich bei 361 durchgeführten statistischen Tests unter GSM 79 signifikante Unterschiede zwischen Vormittag und Nachmittag und unter UMTS

59 Signifikanzen. Die Alpha-Power stieg unter allen Expositionsbedingungen durchgehend nachmittags an. Dies deutet auf zunehmende Wachsamkeit am Nachmittag, was mit der bereits beschriebenen verbesserten kognitiven Leitungsfähigkeit am Nachmittag einhergeht (siehe Kap. 1.4.2).

Ein Vergleich der Power Spektren im Alpha Band bei offenen und geschlossenen Augen erlaubt Aussagen zur Müdigkeit bzw. Wachsamkeit der Testpersonen. Bei zunehmender Schläfrigkeit zeigt die Alpha Aktivität bei geschlossenen Augen eine Tendenz zur Abnahme und bei offenen Augen einen Anstieg. Ein daraus berechneter Koeffizient kann somit als Indikator physiologischer Schläfrigkeit betrachtet werden. In der vorliegenden Studie konnte kein Einfluss der Exposition auf diesen Koeffizient gefunden werden, es traten aber deutliche Tageszeiteffekte auf. Am Nachmittag wurde bei beiden Expositionstypen eine signifikant geringere Müdigkeit im Vergleich zum Vormittag beobachtet. Die größere Wachheit am Nachmittag schlug sich auch - wie bereits dargestellt - in anderen physiologischen Messungen und auch in einzelnen Leistungsparametern nieder.

Im Bereich des Wach-EEG gibt es mehrere Studien, die entweder keinen Einfluss der Mobilfunkfelder finden oder kontroverse und nicht reproduzierbare Effekte beschreiben. In einer finnischen Studie (Hietanen *et al.* 2000) zeigte nur einer von vielen untersuchten EEG-Parametern eine signifikante, mit der Nahfeldexposition korrelierte Veränderung, was die Autoren als statistischen Zufall interpretierten. Hinrichs und Heinze (2006), die das Wach-EEG an 18 Testpersonen unter GSM-1800 sowie Scheinexposition untersuchten, fanden keine akuten Effekte. Curcio *et al.* (2005) untersuchten das Ruhe-EEG im Wachzustand an 20 Personen unter dem Einfluss des Nahfeldes bei 900 MHz. Es wurde ein doppelblindes Design mit Scheinexposition verwendet. Ausgewertet wurde das Leistungsspektrum des EEG in einzelnen Frequenzbändern. Es wurde eine statistische Analyse mit Korrektur für mehrfache Tests (Bonferroni) durchgeführt. Ausschließlich im Alpha Band (9 – 10 Hz) im zentralen Kopfbereich zeigte sich eine signifikante Erhöhung des EEG-Signals während der Exposition. Dies interpretieren die Autoren als eine mögliche Beeinflussung der Aktivität der Hirnrinde durch elektromagnetische Felder, wobei es sich um eine geringfügige Veränderung innerhalb des normalen physiologischen Bereichs handelt. Mit einem ähnlichen Studiendesign untersuchten Croft *et al.* (2008) 120 Probanden und fanden ebenfalls einen leichten, signifikanten Anstieg der Alpha Power im Wach-EEG bei offenen Augen während einer GSM-900-Exposition, allerdings in anderen Hirnregionen als Curcio *et al.* (2005). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch Regel *et al.* (2007) in einer doppelblinden Studie an 24 Personen, wobei der Anstieg der Alpha -Power nach einer Exposition mit GSM-900 im Wach-EEG bei geschlossenen, nicht aber bei offenen Augen auftrat. Vecchio *et al.* (2007) untersuchten den Einfluss des GSM-900-Feldes auf die Korrelation zwischen den Hemisphären und interpretieren die gefundene verringerte Synchronisation in bestimmten Hirnregionen unter Exposition im Sinne eines positiven Einflusses auf die Informationsverarbeitung. Diese Schlussfolgerung wird vom BfS als äußerst spekulativ eingestuft. Insgesamt beschreibt eine Mehrzahl der genannten Publikationen einen leichten Anstieg der EEG-Leistung im Alpha Frequenzband, wobei dieser bei verschiedenen Frequenzen des Alpha Bandes und in unterschiedlichen Bereichen der Hirnrinde auftritt, was eine Folge der unterschiedlichen Expositionsszenarien sein kann. In allen Fällen waren nur wenige der vielen untersuchten Parameter verändert und bewegten sich im normalen physiologischen Bereich. Auf mögliche gesundheitliche Konsequenzen kann aus diesen Ergebnissen aus Sicht des BfS nicht geschlossen werden. In den meisten Studien wurde der Wachsamkeitszustand der Probanden nicht kontrolliert und nur selten gibt es Angaben zur Tageszeit der Untersuchungen. Dies ist insofern problematisch, als diese Parameter offenbar einen erheblichen Einfluss auf das EEG im Alpha Band haben.

### **Ereigniskorrelierte und evozierte Potentiale**

Über das spontane Wach-EEG hinaus können im Wachzustand ebenfalls durch visuelle oder akustische Reize ausgelöste Potentialschwankungen (evozierte und ereigniskorrelierte Potentiale) auftreten und untersucht werden. Eine Analyse des mittels spezieller Verfahren gemittelten EEGs während der Anwesenheit äußerlicher oder interner Reize ermöglicht die Untersuchung spezifischerer Funktionen des Nervensystems, wie Reizwahrnehmung und Reizverarbeitung.

Im Rahmen der bereits erwähnten DMF-Studie (1.4.2, 1.4.3.1) an 30 gesunden Probanden, die jeweils drei Nächte unter GSM-900 und UMTS exponiert sowie scheinexponiert wurden, wurden parallel zur Durchführung von Kognitionstests Bereitschaftspotentiale, langsame Hirnpotentiale und akustisch evozierte Potentiale registriert. Die statistische Analyse einer hohen Zahl von Parametern lieferte einige wenige zufällig signifikante Ergebnisse sowie weitere Hinweise auf einen sehr ausgeprägten Einfluss der Tageszeit. Insgesamt deuten die Daten nicht darauf hin, dass die Exposition mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks einen Einfluss auf evozierte und ereigniskorrelierte Potentiale hat.

Auf diesem Gebiet gibt es eine ganze Reihe von Arbeiten: Eulitz *et al.* (1998) sowie Hamblin *et al.* (2004) spezialisierten sich auf die kognitive Verarbeitung und Unterscheidung akustischer Reize, Krause *et al.* untersuchten die Synchronisation oszillatorischer Gehirnaktivität während der Bearbeitung auditiver (2000a, 2004) und visueller (2000b) Gedächtnisaufgaben, Freude *et al.* (1998, 2000) untersuchten mittels visueller Stimulation langsame Potentiale, die in Vorbereitung auf ein Ereignis bzw. auf eine Informationsverarbeitungsleistung auftreten. In den genannten Arbeiten wurden wiederholt Veränderungen einzelner Parameter beschrieben, wobei meistens nicht die Wahrnehmung der Reize, sondern deren kognitive Verarbeitung verändert war. Die einzelnen beschriebenen Effekte bewegten sich immer im normalen physiologischen Schwankungsbereich, und in keinem

der Fälle konnte eine gesundheitliche Relevanz abgeleitet werden. In einigen Studien wurden keine signifikanten Veränderungen gefunden, und in einigen Fällen ist die Wiederholung der Ergebnisse eigener älterer Arbeiten im doppelblinden Studiendesign an einer hohen Zahl von Versuchspersonen gescheitert (Krause *et al.* 2004, 2007; Hamblin *et al.* 2006).

## Schlaf-EEG

Der Schlaf ist ein sehr komplexer biologischer Prozess, der vom zentralen Nervensystem kontrolliert wird. Er ist ein gut definierter biologischer Zustand, der sensitiv auf externe Einflüsse reagiert und somit ein geeignetes Modell, um mögliche Effekte elektromagnetischer Felder auf das zentrale Nervensystem zu untersuchen. Mit der Problematik des Einflusses von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf das Schlaf-EEG befassten sich vorwiegend Arbeitsgruppen an den Universitäten Mainz und Zürich. Die Mainzer Gruppe hat drei Arbeiten veröffentlicht: in der ersten wird ein signifikanter Schlaf anstoßender Einfluss der Mobilfunkfelder beschrieben (Mann und Röschke 1996), der in den beiden darauf folgenden Arbeiten nicht bestätigt werden konnte (Wagner *et al.* 1998, 2000). Als mögliche Ursachen der widersprüchlichen Resultate wurden methodische Unterschiede in der Durchführung der einzelnen Studien diskutiert. Die Schweizer Arbeitsgruppe befasste sich u. a. mit dem Einfluss einer kurzfristigen oder intermittierenden Exposition auf den Schlafverlauf. Eine intermittierende Exposition mit einem gepulsten elektromagnetischen Feld (GSM) während der Nacht hatte einen Schlaf fördernden Effekt (Borbély *et al.* 1999). Eine kurze Exposition vor dem Einschlafen beeinflusste diverse EEG-Parameter während der gesamten Schlafdauer (Huber *et al.* 2000). Ein Vergleich zwischen gepulsten und ungepulsten elektromagnetischen Feldern zeigte, dass nur die gepulsten Felder das Schlaf-EEG beeinflussen (Huber *et al.* 2002). Loughran *et al.* (2005) konnten einige den NREM-Schlaf betreffenden Ergebnisse der Schweizer Gruppe bestätigen. Demgegenüber haben Hinrichs *et al.* (2005) und Fritzer *et al.* (2007) keinen Einfluss der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks auf den Schlaf gefunden. Insgesamt deuten die Resultate auf einen eher Schlaf anstoßenden und Schlaf fördernden Einfluss der Mobilfunkfelder. Zusätzlich waren einige Parameter des Schlaf-EEGs zwar leicht verändert, blieben aber im normalen physiologischen Bereich. Auf negative gesundheitliche Auswirkungen lassen diese Ergebnisse nach Meinung des BfS nicht schließen. Dies steht im Widerspruch zu häufigen Klagen über Schlafstörungen im Umkreis von Basisstationen.

Deshalb wurden im Rahmen des DMF drei Schlafstudien durchgeführt, eine im Labor und zwei unter häuslichen Bedingungen in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen. Die Laborstudie („Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen“) wurde an 30 jungen gesunden männlichen Probanden durchgeführt, die in einem doppelblinden randomisierten cross-over Design je drei ganze Nächte kontinuierlich mit simulierten Feldern von Mobiltelefonen nach GSM-900- und UMTS-Standard exponiert oder scheinexponiert wurden. Es wurde das Schlaf-EEG abgeleitet und die Schlafstruktur analysiert. Der Schlaf wird in 5 Schlafphasen aufgeteilt: REM (Rapid Eye Movement), NREM1 (Non REM1,) NREM2, NREM3 und NREM4. REM entspricht der Traumphase, NREM1 und NREM2 bilden zusammen den Leichtschlaf, NREM3 und NREM4 den Tiefschlaf. Insgesamt zeigte die Auswertung der Schlafparameter, dass unter GSM 14 und unter UMTS neun der insgesamt 241 Parameter signifikant verändert waren. Zwölf signifikante Veränderungen pro Expositionssituation wären aus rein statistischen Gründen zu erwarten. Die veränderten Parameter waren nicht alle voneinander unabhängig und bezogen sich auf eine geringfügige Verlängerung (einige Minuten) des REM-Schlafes bei gleichzeitiger Verkürzung der Schlafphasen NREM1 und NREM2. Der Tiefschlaf sowie die Gesamtschlafdauer blieben unverändert. Daher werten die Autoren der Studie und das BfS die beobachteten Effekte, sofern sie nicht rein zufällig sind, als eine leichte physiologische Anpassung, aber nicht als Schlaf störend.

Die Powerspektralwerte des Schlaf-EEGs zeigten ebenfalls einige wenige signifikante Veränderungen vor allem im Wachzustand und im Leichtschlaf, im Tiefschlaf sowie REM-Schlaf wurden keine Veränderungen gefunden. Publikationen, die Veränderungen der Powerspektren unter GSM im REM-Schlaf, sowie im NREM-Schlaf, aber in anderen Frequenzbereichen als die vorliegende Studie fanden, konnten nicht bestätigt werden (Mann und Röschke, 1996; Borbély *et al.* 1999; Huber *et al.* 2000, 2002; Loughran *et al.* 2005). Die publizierten Daten zum Einfluss einer GSM-Exposition auf die Schlafspindel konnten in der vorliegenden Studie ebenfalls nicht bestätigt werden (Borbély *et al.* 1999; Huber *et al.* 2000, 2002).

Die beiden Studien im Umkreis von Basisstationen wurden ebenfalls doppelblind durchgeführt und es wurde konsequent auf die Trennung zwischen psychologischen und physiologischen Einflüssen geachtet. In der ersten Studie („Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen“) wurden 397 Testpersonen an zehn Standorten mit fehlender Mobilfunkversorgung aus fünf Bundesländern unter häuslichen Bedingungen mit einer mobilen Basisstation exponiert. Die Exposition erfolgte verblindet und nur nachts. Die Stichprobe stimmte in ihren Eigenschaften, wie Alter, Geschlecht, Auftreten von Schlafstörungen und anderen Symptomen, sowie Einstellung zum Mobilfunk und dessen Nutzung gut mit der allgemeinen Bevölkerung überein. In je fünf Nächten unter Exposition und Scheinexposition wurde das Schlaf-EEG abgeleitet und mittels Fragebögen die subjektiv empfundene Schlafqualität abgefragt. Eine statistische Auswertung der Gesamtkollektivs ergab keinen signifikanten Einfluss der Exposition auf subjektive und objektive Schlafparameter. Eine individuelle Auswertung zeigte bei 57 Probanden signifikante Veränderungen in mindestens einem von sieben objektiven Schlafparameter und bei 36 Personen in mindestens einem von sechs subjektiven Parameter. Nur bei elf

Probanden zeigten sich gleichzeitig Veränderungen in beiden Kategorien. Der Anteil der Personen, die signifikante Veränderungen in einem bestimmten Schlafparameter zeigten, lag durchgehend unterhalb der 5 %, die rein zufällig zu erwarten wären. Tendenziell deuteten die objektiven Schlafparameter eher auf eine Verschlechterung, die subjektiven auf eine Verbesserung der Schlafqualität unter Exposition. Eine detaillierte Befragung ergab in den einzelnen Fällen eindeutige, von der Exposition unabhängige Gründe für schlechteren Schlaf (z. B. Lärm, Hitze, Störungen, Probleme). Die gemessene Feldstärke und die Entfernung vom Sendemast zeigten keinen Zusammenhang mit der Schlafqualität. Besorgnis gegenüber dem Sendemasten führte auch unter Scheinexposition zu einer signifikant verschlechterten Schlafqualität im Sinne von längeren Einschlafzeiten, längeren Wachzeiten während der Nacht und einer verminderten Schlaffeffizienz. Das bedeutet, dass nicht die elektromagnetischen Felder, sondern Bedenken über mögliche gesundheitliche Folgen, die von Basisstationen ausgehen könnten, die Schlafqualität beeinträchtigen.

Die zweite Studie („Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen“) untersuchte unter häuslichen Bedingungen den Einfluss einer Abschirmung an 44 elektrosensiblen Personen, die ihre Schlafstörungen auf Mobilfunk-Basisstationen zurückführten. In dieser Studie wurde keine besonders hohe Exposition in den Wohnungen der Testpersonen festgestellt und auch kein negativer Einfluss der elektromagnetischen Felder der Mobilfunk Basisstationen auf die objektiven und subjektiven Schlafparameter gefunden. Vor allem bei den subjektiven Schlafparametern, wie empfundene Schlafqualität, Dauer und Erholbarkeit des Schlafes, konnten deutliche psychologische Einflüsse beobachtet werden. Bereits das Vorhandensein einer Abschirmung hatte z. B. einen eindeutigen positiven Placebo-Effekt, unabhängig davon, ob das verwendete Material tatsächlich schirmende Eigenschaften hatte oder nur eine Attrappe war. Bei den physiologischen Parametern (Schlaf-EEG) waren die psychologischen Einflüsse weniger ausgeprägt (siehe auch Kap. I.9).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die elektromagnetischen Felder von Mobilfunk Basisstationen keinen gesundheitlich relevanten Einfluss auf den Schlaf haben, das Vorhandensein einer Basisstation sich aber über psychologische Einflüsse negativ auswirken kann. Die wesentlich stärkeren Felder der Endgeräte mit SAR-Werten von bis zu 2 W/kg führen regelmäßig in verschiedenen Labors zu Beobachtungen von geringfügigen physiologischen Veränderungen, die sich auf diverse Schlafparameter und Schlafstadien verteilen, allerdings überwiegend nicht zwischen den Labors übereinstimmen. In allen Fällen stellen sie höchstens geringfügige physiologische Reaktionen dar und können in keinem Fall als gesundheitliche Beeinträchtigung interpretiert werden. Inwiefern die Ursache dieser Unterschiede z. B. in unterschiedlichen Expositionsszenarien (vor oder während des Schlafes, kontinuierlich oder intermittierend) liegt oder ob die beobachteten Effekte zufällig sind, bleibt zunächst offen.

Im Rahmen des DMF wurde u. a. gezeigt, dass neuronale Netzwerke des Auges (Kap. I.4.1) und des Gehirns (Kap. I.2.3) Temperaturschwankungen um etwa 0,2 °C folgen können. Dosimetrische Arbeiten im Rahmen des DMF (Kap. III) ergaben bei realistischen Expositionsszenarien für Mobiltelefone eine Erwärmung der Hirnrinde um 0,013 °C. Einige Publikationen sprechen aber von bis zu 0,1 °C (Wainwright, 2000), und die „worst-case“ Bedingungen, die in experimentellen Studien angestrebt werden, um mögliche Einflüsse nicht zu übersehen (Huber *et al.* 2003, Kuster *et al.* 2004, Hillert *et al.* 2007), könnten unter Umständen zu einer derartigen Erwärmung der Hirnrinde führen. Als Folge regulatorischer Reaktionen, möglicherweise vermittelt über Thermorezeptoren, kann es zu physiologischen Antworten kommen, die nah an der Nachweisgrenze liegen und deswegen schwer zu untersuchen und zu reproduzieren sind. Da im Laufe der Tagesrhythmik die Kerntemperatur des Körpers, und somit auch die Temperatur des Gehirns, um etwa 1 °C schwankt, sind derartige physiologische Reaktionen nach Meinung des BfS gesundheitlich unbedenklich. Die bekannte sehr enge physiologische Kopplung zwischen Thermoregulation und Schlaf (Kräuchi, 2007) stützt ebenfalls die o. g. Hypothese.

## **I.5 ALTERSABHÄNGIGKEIT / KINDER**

Kindern und Jugendlichen gilt besondere Fürsorge, da sich ihr Organismus noch in der Entwicklung befindet und mögliche Schäden in einer frühen Entwicklungsphase gesetzt würden. Die Gehirnentwicklung durchläuft auch nach der Geburt noch Phasen hoher Plastizität, von denen sich einige, wie z. B. der gezielte Abbau von zunächst im Überschuss angelegter Synapsen oder die Myelinisierung von Neuronen bis ins Jugendalter hinein fortsetzen. Diese „Formbarkeit“ muss keine größere Empfindlichkeit bedeuten, sie stellt aber einen Unterschied zum Erwachsenengehirn dar. Generell gilt: je jünger das Kind, desto größer die Unterschiede. U. a. im „Stewart-Report“ aus dem Jahr 2000 wurde eine höhere Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen in Bezug auf die biologische Wirkung hochfrequenter Felder diskutiert (IEGMP 2000). Bisher liegen hierzu allerdings nur wenige wissenschaftlich belastbare Erkenntnisse vor. Eine Übersicht zum Thema in deutscher Sprache bietet die Stellungnahme der SSK „Mobilfunk und Kinder“ (2006).

Die Untersuchung der Fragestellung unterliegt methodischen Einschränkungen. Können z. B. mit erwachsenen oder älteren jugendlichen Probanden noch systematische Schlaf- und Kognitionsstudien durchgeführt werden, ist dies vor allem bei jüngeren Kindern weder praktikabel noch ethisch vertretbar.

Im Rahmen des DMF wurde zunächst eine Machbarkeitsstudie durchgeführt, die die komplexe Informations- und Datenlage zum Thema zusammenführen und im Hinblick auf eine Hauptstudie analysieren sollte („Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter“). Es wurde schnell deutlich, dass eine umfassende Klärung der Frage altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder aufgrund der Vielzahl ungeklärter Einzelaspekte im Rahmen der Laufzeit des DMF nicht möglich ist. Allerdings können Teilaspekte geklärt und damit die Datenlage verbessert werden. Die höchste Praxisrelevanz hat angesichts der zunehmenden Nutzung von Mobiltelefonen durch Kinder die Frage kopfnah betriebener Strahlungsquellen. In der Machbarkeitsstudie favorisiert und im DMF auch realisiert wurde eine Studie mit dosimetrischer Ausrichtung. Viele Abschätzungen von Eindringtiefen elektromagnetischer Felder oder von SAR-Verteilungen im kindlichen Organismus beruhten auf der Vermessung erwachsener Personen („Erwachsenenphantom“), die auf die Größe von Kindern unterschiedlicher Altersstufen angepasst, d.h. „herunterskaliert“ wurden. Bei diesem Verfahren werden Unterschiede z. B. der Proportionen oder der Gewebeeigenschaften meist nicht berücksichtigt. Studien, die sich mit dem Vergleich der Energieabsorption bei Kindern und Erwachsenen befassen, kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen. Während z. B. Gandhi *et al.* (1996) von einer höheren Energieabsorption bei Kindern im Kopfbereich ausgingen, finden Schönborn *et al.* (1998) keine signifikanten Unterschiede bezüglich der SAR-Verteilung und der Eindringtiefen im Kopf zwischen Kindern und Erwachsenen.

In der im Rahmen des DMF durchgeführte Studie („Untersuchungen zu altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter“) soll durch möglichst realitätsnahe Modellierung sowohl des kindlichen Kopfes als auch der Strahlungsquelle die Frage nach Ausmaß und Verteilung von HF-Absorption im kindlichen Kopf untersucht werden. Bei der Modellierung werden relevante Zielstrukturen wie Pinealdrüse, Hippokampus oder Hypothalamus besonders berücksichtigt und die altersabhängige Variabilität physiologischer, biophysikalischer oder anatomischer Parameter, wie Dicke und Elastizität des Ohres bei typischer Benutzung eines Mobiltelefons so weit wie möglich einbezogen. Die Simulationen der elektromagnetischen Felder und der Temperaturverteilung auf der Hautoberfläche werden zusätzlich durch geeignete Messungen validiert. Zur Erfassung der Temperaturverteilung und der Thermoregulationsprozesse im Gehörgang wurde ein nicht invasives Messverfahren (miniaturisierte Temperatursonden) entwickelt und eingesetzt.

Auch andere im Rahmen des DMF durchgeführte Studien steuern Informationen für die Fragestellung bei, so vor allem die tierexperimentellen Langzeitstudien „*in vivo*-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen“ und „Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen“. In diesen Studien erfasst die Exposition sämtliche Entwicklungsphasen ab der Empfängnis, über mehrere Generationen hinweg. Dort wurde untersucht, ob die Exposition mit Mobilfunksignalen Einflüsse auf das Stressgeschehen, das Immunsystem, die Integrität der Blut-Hirn-Schranke, die Schädigung von CA1-Neuronen, die kognitive Leistung oder Fortpflanzung und Entwicklung hat. Sie untersuchten allerdings nicht die Teilkörper-Expositionssituation bei Handynutzung, liefern aber durchaus Informationen für die Situation einer chronischen Ganzkörperexposition und verbessern die diesbezügliche Datenlage. Hinweise auf schädigende Effekte fanden sich nach Auffassung der Autoren der Studien und des BFS nicht.

## 1.6 BLUT-HIRN-SCHRANKE

Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) ermöglicht einen kontrollierten Stoffaustausch zwischen Blut und Gehirn und schützt die Nervenzellen vor schädigenden Substanzen. Wird die Funktion der BHS als selektiver Filter gestört, kann es zu Übertritten unerwünschter Substanzen und als Folge dessen ggf. zu einer Schädigung der in diesem Bereich liegenden Nervenzellen kommen. Allerdings unterliegt die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke auch unter physiologischen Bedingungen vorübergehenden Schwankungen.

Zu Beginn des DMF sprachen zwar tierexperimentelle Studien (Tsurita *et al.* 2000, Fritze *et al.* 1997, Finnie *et al.* 2002) gegen eine Schwächung der BHS durch hochfrequente Felder des Mobilfunks unterhalb der Grenzwerte, im Widerspruch hierzu standen jedoch Ergebnisse der Arbeitsgruppe Salford, die eine signifikante Beeinflussung der Durchlässigkeit der BHS sowie neuronale Schäden durch kontinuierliche und gepulste 915 MHz-Felder bei spezifischen Absorptionsraten deutlich unterhalb der Grenzwerte beschrieb (Salford *et al.* 2003). Hinweise auf eine erhöhte Durchlässigkeit der BHS unter HF-Exposition ergaben sich auch aus einer *in vitro* Studie von Schirmacher *et al.* (2000). In der Research-Agenda der WHO wurden daher Studien zur Blut-Hirn-Schranke und anderen Neuropathologien wie Entzündung der Dura Mater und „Dunkle Neurone“ als „short-term or urgent needs“ empfohlen (WHO 2003).

Im Rahmen des DMF wurden drei Studien durchgeführt, die die Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Blut-Hirn-Schranke untersuchen. Zwei der Studien wurden *in vivo*, d. h. im Tierexperiment durchgeführt, eine im Zellkulturmodell. Bei den tierexperimentellen Studien wurden explizit Folgen einer längerfristigen Exposition berücksichtigt, wobei in einer der Studien („*in vivo*-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen“) das Szenario „chronische Ganzkörperexposition“ und in der anderen („Einfluss der Mobilfunkfelder auf die

Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern *in vivo*) „eine lokale Kopfbefeldung (die Situation der Handynutzung) untersucht wurde.

Die chronische Ganzkörperexposition wurde an Wistar-Ratten untersucht. Diese wurden beginnend in utero chronisch mit GSM-900- oder UMTS-Signalen, SAR 0.4 W/kg exponiert, so dass auch pränatale, möglicherweise sensiblere Entwicklungsphasen des zentralen Nervensystems und der Blut-Hirn-Schranke von der HF-Exposition erfasst wurden. Zusätzlich wurde, um die Empfindlichkeit des Tests zu erhöhen, die Blut-Hirn-Schranke in den untersuchten Tieren vor der Untersuchung latent geschwächt („Challenge-Bedingungen“). Hierdurch wurde der Möglichkeit Rechnung getragen, dass u. U. nicht nur die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, sondern gleichzeitig weitere Stressoren auf die BHS einwirken können. Die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke wurde in dieser Studie mit Hilfe eines radioaktiven Markers, <sup>14</sup>C-Saccharose, untersucht. Der Übertritt dieses Markers aus dem Blut ins Gewebe wurde quantitativ durch Berechnung der unidirektionalen Influxkonstante  $K_{in}$  in verschiedenen Hirnarealen (Bulbus olfactorius, Cerebellum, Medulla oblongata, Pons, Mesencephalon, Diencephalon, Cortex) bestimmt. Es zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke zwischen den HF-exponierten Tieren und den scheinexponierten Kontrollen.

Zusätzlich wurde der Einfluss der chronischen HF-Befeldung auf CA1-Neuronen untersucht. CA1-Neuronen gehören zu den empfindlichsten Zellen des Gehirns. Sie befinden sich in der Pyramidenzellschicht des Hippokampus und sind an Lern- und Gedächtnisleistungen wesentlich beteiligt. Die Schädigung wird durch eine verringerte CA1-Neuronenzahl erkennbar. Zur Bestimmung der Zahl der CA1-Neuronen wurde in diesem Projekt die aufwändige aber genaue physikalische Disektormethode eingesetzt. Dabei werden ca. 4000 Schnitte (Dicke: 2  $\mu$ m) durch das ganze Gehirn hergestellt. Nach jeweils 100 Schnitten werden in einer Stichprobe aus 2 Parallelschnitten Zelldichte und Volumen der CA1-Region mikroskopisch untersucht. Es fanden sich keine Hinweise auf eine erhöhte Durchlässigkeit der BHS oder eine Schädigung von CA1-Neuronen.

Während in der vorgenannten Studie frei bewegliche Tiere unter chronischer Ganzkörper-Exposition untersucht wurden, stand in der zweiten tierexperimentellen Studie die Teilkörperexposition im Kopfbereich im Mittelpunkt. Diese Arbeit diente zunächst der unabhängigen Überprüfung der Ergebnisse der Arbeitsgruppe Salford, ging aber hinsichtlich der untersuchten Expositionsszenarien über diese hinaus.

Salford *et al.* (2003) beschreiben 50 Tage nach einer einmaligen, 2-stündigen HF-Exposition unterhalb der Grenzwerte eine erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Albumin und die Entstehung „Dunkler Neurone“, die sie als geschädigte Nervenzellen interpretieren. In der vorliegenden DMF-Studie wurde ebenfalls Albumin als Marker für die Durchlässigkeit der BHS verwendet. „Dunkle Neurone“ werden zusätzlich zu der von Salford *et al.* verwendeten Methode mit Chresyl-Violett mit Fluoro-Jade als spezifischerem Farbstoff nachgewiesen. Es wurden folgende Expositionsszenarien untersucht:

#### a) Einmalige Exposition

1 x 2 Stunden mit SAR 0 / 0,02 / 0,2 / 2 / 13 W/kg exponiert, a) nach GSM-1800-Standard, b). nach UMTS-Standard. Zur Überprüfung der Frage, ob sich gesetzte Schäden sofort oder möglicherweise erst zeitverzögert manifestieren, wurden nach unterschiedlichen Zeitpunkten (sofort, 1 h, 1, 7 und 50 Tage nach Expositionsende) die Auswirkung auf die Blut-Hirn-Schranke (Albuminübertritt) und auf die Bildung „Dunkler Neurone“ untersucht.

#### b) Wiederholte Exposition

4 Wochen lang, 2 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche exponiert mit SAR 0 / 0,02 / 0,2 / 2 / 13 W/kg a) nach GSM-1800-Standard, b) nach UMTS-Standard, Untersuchung sofort und 50 Tage nach Expositionsende.

Eine einzelne 2-stündige Exposition (GSM oder UMTS) erhöhte die BHS-Durchlässigkeit für Albumin nicht und induzierte auch keine „Dunklen Neurone“. Es werden auch keine vorübergehenden oder erst mit zeitlicher Verzögerung sichtbaren Schäden gesetzt. Vergleichsweise konsistent, d. h. in allen untersuchten Arealen findet sich lediglich direkt nach UMTS-Exposition mit 13 W/kg in allen untersuchten Bereichen Z1-Z3 eine signifikante Verminderung der Durchlässigkeit der BHS für Albumin. Insoweit können die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Salford mit dieser Studie nicht bestätigt werden.

Auch unmittelbar nach Beendigung der 4-wöchigen wiederholten Exposition wurde weder eine Induktion von „Dunklen Neuronen“ festgestellt, noch trat ein erhöhter Albumindurchtritt auf. Ausgenommen hiervon ist ein einzelner Befund bei 0.26 W/kg, der nach 50 Tagen nicht mehr vorhanden ist.

Bezüglich einer erhöhten Durchlässigkeit der BHS für Albumin wurde der konsistenteste Effekt, der in allen drei untersuchten Hirnarealen auftrat, unter GSM beim höchsten, oberhalb der Grenzwerte liegenden SAR-Wert von 13 W/kg, erstmals 50 Tage nach Beendigung der Exposition beobachtet. Er führt, bezogen auf das gesamte Gehirn, zu einer Erhöhung der Zahl der Albumin-Spots von durchschnittlich 1 in scheinexponierten Tieren auf durchschnittlich 2-3 Albuminspots in exponierten Tieren. Die höchste Zahl der in den exponierten Tieren gefundenen Spots liegt noch in der Größenordnung der maximal in den Käfigkontrollen, d. h. den weder

exponierten, noch scheinexponierten Tieren, auftretenden Spot-Zahlen. Es handelt sich also auch hier nicht um einen starken Effekt.

Unter keinem der untersuchten Szenarien zeigte sich ein plausibler Zusammenhang zwischen Expositionshöhe und Effekt.

Belastbare Hinweise auf gesundheitsrelevante Effekte unterhalb der existierenden Grenzwerte ergeben sich aus den genannten Studien sowohl nach Einschätzung der Autoren der Studien als auch nach Auffassung des BfS aus den Ergebnissen insgesamt nicht.

Für den Signaltyp GSM (duty cycle 1/8), SAR 13 W/kg sollte jedoch abgeklärt werden, ob die 50 Tage nach Abschluss der Exposition beobachtete erhöhte Durchlässigkeit für Albumin im Zusammenhang mit den experimentell auftretenden hohen maximalen Peakwerten stehen könnte. Sofern die Schwelle für das Auftreten thermoelastischer Wellen (der bekannte Effekt des „Mikrowellen-Hörens“) für die Ratte erreicht würde, oder lokale thermische Reize von den Tieren wahrgenommen werden, könnte dies zusätzlichen Stress induzieren. Dieser Aspekt wurde auf dem Workshop „chronische Effekte“ diskutiert. Es wird als durchaus sinnvoll erachtet, diese Frage ggf. im Rahmen einer dosimetrischen Studie weiter zu verfolgen, auch um Ergebnisse aus Experimenten mit Labornagern hinsichtlich ihrer Aussagekraft für die Exposition von Menschen durch leistungsstarke Endgeräte besser einordnen zu können.

Die Frage, ob Gene, die mit der Blut-Hirn-Schranke in einem Zusammenhang stehen, durch Felder des Mobilfunks (GSM und UMTS) in ihrer Expression beeinflusst werden, wurde in der Studie „*in vitro* Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke“ an einem Zellkulturmodell der Blut-Hirn-Schranke untersucht. Primärkulturen von die Blut-Hirn-Schranke bildenden Endothelzellen aus Rattengehirn wurden nach GSM- und UMTS-Standard, SAR 0 (Scheinexposition), 0,4, 1, 3 und 8 W/kg exponiert. Für die Analyse der differentiellen Genexpression wurde ein Gesamt-Genom-Array verwendet, auf dem ca. 28.000 Gene repräsentiert sind (*Affymetrix GeneChip Rat Genome 230 2.0*). Bei der Auswertung werden im Rahmen einer komplexen bioinformatischen Analyse nach und nach Signale mit schlechtem statistischem Support und schwach regulierte Gene herausgefiltert. In der vorliegenden Studie wurden in einem weiteren Filterschritt Ergebnisse von parallel geführten Temperaturkontrollen (38°C und 40°C) in der Weise einbezogen, dass alle Signale, die in einer der beiden Temperaturkontrollen als unterschiedlich zur Kontrolle exprimiert erschienen, aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen wurden. Aus dem Pool der nach diesem Filterschritt verbleibenden Gene wurden 47 mit einer zweiten Methode, RT-PCR, überprüft.

Letztlich wurden mehrere Gene in ihrer Expression beeinflusst. Darunter befinden sich vasoaktive Rezeptoren, d. h. Gene, deren Produkte den Prozess der Erweiterung oder die Verengung von Blutgefäßen beeinflussen können, Gene, die an Prozessen der Signalübermittlung und des Transports über die BHS beteiligt sind sowie mit Claudin 1 ein Gen, dessen Produkt an der Barrierefunktion der BHS beteiligt ist.

Insgesamt ergeben die beobachteten Regulationsänderungen kein plausibles Muster im Sinne einer Expositions-Wirkungsbeziehung, sondern lediglich punktuelle Signifikanzen in beide Richtungen (Auf- und Abregulation) bei unterschiedlichen SAR-Werten, wobei die meisten regulierten Gene bei 3 W/kg auftreten. Bettet man die Ergebnisse dieser *in vitro* Studie in die Ergebnisse der tierexperimentellen Studien ein, und berücksichtigt man ferner, dass auch im Zellkulturmodell die Funktion der Blut-Hirn-Schranke nicht beeinflusst wird (Franke *et al.* 2005 a, b) können die beobachteten Veränderungen auf Genexpressionsebene nach Ansicht des BfS nicht als Hinweis auf eine Funktionsbeeinträchtigung der BHS gewertet werden. Dies wird auch vom Autor der Studie so beurteilt. Hinsichtlich der Methodik ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei der hier verwendeten Gen-Array-Technik um eine aufwändige und kostenintensive Methode handelt, was die Möglichkeit für unabhängige Serien von Experimenten innerhalb eines Projekts begrenzt. Hinzu kommt in diesem Fall, dass die Gewinnung des Untersuchungsmaterials (primäre Endothelzellkulturen) extrem aufwändig ist und große experimentelle Erfahrung erfordert. Der Vorteil dieser Herangehensweise ist jedoch, dass Kandidatengene herausgefiltert werden, die in weiteren Studien gezielt und mit spezifischeren Methoden auch auf Proteinebene weiter untersucht werden können.

Es wird empfohlen, die Ergebnisse dieser Studie, ggf. auch im Rahmen der Grundlagenforschung, unabhängig abzusichern und – auch im Hinblick auf die Frage möglicher „athermischer“ Effekte - weiter zu verfolgen.

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Salford führten zu erheblicher Besorgnis in der Bevölkerung und zu breiten internationalen Forschungsanstrengungen. Die Ergebnisse der DMF-Studien, die diese Ergebnisse insgesamt nicht stützen, stehen nach Einschätzung des BfS im Einklang mit aktuellen Arbeiten von Kuribayashi *et al.* (2005), Cosquer *et al.* (2005), Finnie *et al.* (2006, 2008), Masuda *et al.* (2007 a,b) sowie Kumlin *et al.* (2007). Konsistente Hinweise auf eine physiologisch relevante Schwächung der Blut-Hirn-Schranke durch HF-Exposition unterhalb der Grenzwerte ergeben sich aus den vorliegenden Studien nicht. Einige Aspekte, wie die Frage eines erhöhten Albuminübertritts unter GSM-Exposition bei SAR 13 W/kg oder die beobachteten Effekte auf Genexpressionsebene bieten Ansatzpunkte für weiterführende Forschung, wobei die Abgrenzung zwischen Grundlagenforschung und strahlenschutzrelevanten Fragestellungen im Einzelfall abzuwägen ist.

## **I.7. STRESSANTWORT UND IMMUNSYSTEM**

Mit der Untersuchung dieser Fragestellung wurde ein Punkt aus der WHO-Research-Agenda 2003 aufgegriffen, der tierexperimentelle Studien v. a. zum Immunsystem aufgrund älterer russischer Publikationen als „short-term / urgent needs“ benannte (WHO 2003).

Die Frage, ob eine chronische Ganzkörper-Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks einen chronischen Stressor darstellt, der auch Einflüsse auf das Immunsystem ausüben könnte, wurde im DMF mit einer tierexperimentellen Langzeitstudie untersucht („*in vivo*-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen.“).

Weibliche Wistar-Ratten wurden - beginnend *in utero* - chronisch mit GSM-900- oder UMTS-Signalen, SAR 0.4 W/kg exponiert, so dass auch pränatale, möglicherweise sensiblere Entwicklungsphasen erfasst wurden. Für die Untersuchung der Frage, ob die chronische Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die Stressantwort beeinflusst, wurde der ACTH-Stimulationstest eingesetzt. Hierbei wird mit Hilfe eines akuten Stressors, der Injektion des Adrenocorticotropen Hormons (ACTH), festgestellt, ob die einem potentiellen chronischen Stressor, der Feldexposition, ausgesetzten Tiere in der Lage sind, auf den akuten Stressor angemessen (Anstieg des Stresshormons Kortikosteron) zu reagieren. Die Entwicklung des Kortikosteronspiegels im Blut wird mit enzymgekoppelten Immunfluoreszenz-Tests (ELISA) erfasst. Ermittelt werden die Ausgangskonzentration des Kortikosterons (Basislevel), die Maximalkonzentration am Ende des Tests, die Differenz zwischen diesen beiden Werten sowie der zeitliche Verlauf der Reaktion. Untersucht wurden Tiere der ersten Generation F0a im Alter von 55 Wochen und die Untergruppe F0b im Alter von 24 Wochen, sowie Tiere der dritten Generation F2, die ebenfalls im Alter von 24 Wochen, analog zu F0b.

Für die in der ersten Generation am längsten exponierte Gruppe F0a sowie für die in dritter Generation exponierten Tiere F2 ergaben sich keine Unterschiede hinsichtlich Basallevel, Maximallevel, Differenz sowie dem zeitlichen Verlauf der Reaktion zwischen GSM- oder UMTS-exponierten Tieren und scheinexponierten Kontrollen. Lediglich in der Gruppe F0b war die Kortikosteron-Basalkonzentration in den exponierten Gruppen gegenüber der Kontrolle erniedrigt, während die maximale Kortikosteronkonzentration wieder der Kontrolle entsprach. Die erhöhte Differenz zwischen Basal- und Maximalkonzentration geht daher auf den erniedrigten Ausgangswert zurück. In der gleich alten und gleich lange exponierten Gruppe F2 tritt der Effekt nicht auf.

Zur Untersuchung eines möglichen Einflusses von GSM- oder UMTS-Feldern auf das Immunsystem wurden die Tiere mit den Antigenen Ovalbumin (OVA) und Hühner IgY (Immunglobulin), sowie einem Lipopeptid-Adjuvans immunisiert. Blutentnahmen erfolgten am Tag 0, sowie zur Untersuchung des Impferfolgs und zur Ermittlung der Antikörper-Konzentrationen (Anti-OVA, Anti-IgY, Gesamt IgG) jeweils an Tag 14 und Tag 35. Zeitlicher Verlauf und Höhe des Antikörper-Konzentrationen geben Auskunft über mögliche Einflüsse der Exposition auf das Immunsystem. Ein Einfluss der Exposition auf die Konzentration des Gesamt-Immunglobulins war weder in Gruppe F0a noch in Gruppe F0b vorhanden. Lediglich in F2 waren die Gesamt-Immunglobulin-Werte der GSM-exponierten Gruppe erhöht, was allerdings auf einem höheren Ausgangswert dieser Gruppe beruht. Der Unterschied zwischen dem Ausgangsniveau vor der Immunisierung und dem Wert nach der Immunisierung entspricht wiederum der Kontrolle. Bei den spezifischen Antikörpern Anti-OVA, Anti-IgY treten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen auf. In F0b, der Gruppe, deren Tiere gleich alt und gleich lange exponiert sind wie F2, tritt der Effekt ebenfalls nicht auf. Ein Indiz für eine (z. B. durch chronischen Stress) geschwächte Immunreaktion wäre diese Erhöhung der IgG-Werte im Übrigen nicht.

Die Ergebnisse stimmen überein mit denen von Nasta *et al.* (2006), die den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder (GSM-900, 2 W/kg, 2 h / Tag über 4 Wochen) auf B-Zell-Differenzierung und Antikörperproduktion in Mäusen untersuchten und ebenfalls keinen Einfluss fanden.

Hinweise auf eine Dauerstress-ähnliche Belastung der exponierten Tiere oder eine negative Beeinflussung des Immunsystems ergeben sich sowohl nach Ansicht der Autoren der Studie als auch nach Meinung des BfS aus den Ergebnissen nicht.

## **I.8 FORTPFLANZUNG UND ENTWICKLUNG**

Zur Frage einer Beeinflussung von Vermehrungsfähigkeit und Entwicklung lagen zum Zeitpunkt des Beginns des DMF kaum Ergebnisse aus Studien vor, in denen mobilfunkrelevante Expositionsszenarien untersucht wurden. Epidemiologische Studien konzentrierten sich vor allem auf den Frequenzbereich von 27 MHz im Zusammenhang mit der Exposition von Physiotherapeutinnen durch Kurzwellen-Diathermiegeräte, einige Studien erfassen auch den Bereich von 915 oder 2450 MHz von Mikrowellendiathermiegeräten (z. B. Lerman *et al.* 2001). In einigen dieser Studien wurde ein erhöhtes Risiko für Fehlgeburten gefunden, in anderen nicht. Oft wurden Wirkungen hoher spezifischer Absorptionsraten (SAR) weit oberhalb der Grenzwerte untersucht, die mit thermischen Effekten einhergehen (als Review siehe Jauchem (2007)). Negative Auswirkungen einer starken Temperaturerhöhung von mindestens 2°C gegenüber der normalen Temperatur des Gewebes sowohl auf die Spermienentwicklung als auch

auf die embryonale und fötale Entwicklung sind bekannt und auch aus tierexperimentellen Studien gut belegt. Jensch *et al.* (1997) beschrieben in einem Tierversuch mit Ratten leichte Verzögerungen der Gewichtszunahme und verzögertes Öffnen der Augen nach einer Exposition mit 6 GHz bei hohen Leistungsflussdichten von 100, 200 oder 350 W/m<sup>2</sup>, nicht jedoch nach Exposition bei 2450 MHz und 915 MHz. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen mehrere tierexperimentelle Arbeiten, die von Juutilainen (2005) zusammengefasst wurden.

Dies gilt auch für Studien aus den 1980-er Jahren, z. B. von Saunders und Kowalczuk (1981a,b) oder Lebovitz und Johnson (1987) bezüglich der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich um 1.3 GHz und 2.45 GHz auf Hoden und Sperma. Zu dieser Frage wurden von der Arbeitsgruppe Dasdag mehrere Arbeiten durchgeführt, in denen zunächst histologische Veränderungen des Hodengewebes beschrieben wurden (Dasdag *et al.* 1999), die allerdings ohne Einfluss auf Spermienzahl- und Spermienmorphologie waren. Diese Ergebnisse konnten bei Wiederholung der Versuche unter verbesserten methodischen Bedingungen von der Arbeitsgruppe allerdings nicht bestätigt werden (Dasdag *et al.*, 2003). Weiterhin hat dieselbe Arbeitsgruppe keine Hinweise auf Apoptose unter den Spermatogonien gefunden (Dasdag *et al.* 2008). Ozguner *et al.* (2005) beschrieben einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Hormonhaushalt, begleitet von geringfügigen Veränderungen des Epithels in den Hoden, aber keinen negativen Einfluss auf die Spermiogenese.

In einer Studie von Magras und Xenos (1997) wurde eine starke Abnahme der Anzahl der Nachkommen bei Mäusen beschrieben, die schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Funk- und Fernsehsendern ausgesetzt waren. Die Studie weist allerdings starke methodische Mängel auf, v. a. wurde keine geeignete Kontrolle mitgeführt. Daher konnten Stressoren wie z. B. Lärm nicht als Verursacher der Effekte ausgeschlossen werden. Belastbare Studien zu möglichen Einflüssen auf Reproduktion und Entwicklung unter für die reale menschliche Exposition relevanten SAR-Werten bei chronischer HF-Exposition standen daher noch aus, insbesondere lagen keine Untersuchungen zum neuen Mobilfunkstandard UMTS vor.

Im Rahmen des DMF wurde zu dieser Fragestellung die Mehr-Generationen Studie „Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen“ an Mäusen durchgeführt. Männliche und weibliche C57BL-Mäuse wurden über 4 Generationen durchgehend elektromagnetischen Feldern des Mobilfunk-Standards UMTS mit spezifischen Absorptionsraten (SAR) von 0, 0.08, 0.4 und 1.3 W/kg ausgesetzt. Drei der vier Generationen waren bereits ab dem Zeitpunkt ihrer Zeugung exponiert. In keiner der untersuchten Generationen und bei keiner der applizierten SAR traten signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und exponierten Tieren auf bezüglich Hodengewichten, akzessorischen Drüsengewichten, Spermienanzahl, Zahl fehl geformter Spermien, Uterusgewichten, Gelbkörperanzahl, Anzahl normal entwickelter Föten, Positionen der Föten im Uterus, Wurfgrößen, Überlebensraten, Geburtsgewichten und der Gewichtsentwicklung der Jungtiere. Auch die Entwicklungsparameter „Zeitpunkt der Augenöffnung“ und „Umdrehreflex“ unterschieden sich nicht zwischen exponierten Tieren und scheinexponierten Kontrollen.

Vereinzelt ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede, die jedoch weder durchgängig in den verschiedenen Generationen auftraten, noch dosisabhängig waren. Hierzu gehören geringfügig erhöhte Nebenhodengewichte bei 0.08 und 0.4 W/kg, nicht jedoch bei 1.3 W/kg, nur in den Generationen F0 und F3, nicht in F1 und F2; eine im Vergleich zu den scheinexponierten Kontrollen signifikant verminderte Anzahl resorbierter Föten bei 0.4 W/kg, ausschließlich in der ersten Generation sowie ein im Vergleich zur Kontrolle erhöhtes Gewicht der Föten bei 0.4 W/kg, ausschließlich in F3.

Nur in der ersten Generation F0, nicht jedoch in den drei Folgegenerationen F1-F3 war der prozentuale Anteil von Missbildungen bei 0.08 und 1.3 W/kg (nicht bei 0.4 W/kg) erhöht. Dieses Teilergebnis beruht jedoch nicht auf einer echten Erhöhung in den exponierten Gruppen, sondern auf einer sehr niedrigen Fehlbildungsrate in der scheinexponierten Kontrollgruppe, mit der die Fehlbildungsraten der exponierten Gruppen verglichen wurden. Die Fehlbildungsrate dieser Kontrolle weicht nicht nur von den Kontrollen der übrigen drei Generationen, sondern auch von den für diesen Mausstamm publizierten Fehlbildungsraten deutlich nach unten ab.

Hinweise auf negative Effekte der chronischen Ganzkörper-Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf Prozesse der Fortpflanzung und der Entwicklung in mehreren Tiergenerationen ergeben sich nach Auffassung des Forschungsnehmers insgesamt nicht. Dieser Einschätzung stimmt das BfS zu.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit einer weiteren im DMF durchgeführten *in vivo*- Studie. Dort wurden 3 Generationen Wistar-Ratten ab der Zeugung mit 0.4 W/kg entweder nach GSM-900 oder nach UMTS-Mobilfunkstandard exponiert („*in vivo*-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen“). Zwar standen Untersuchungen zu Fortpflanzung und Entwicklung nicht im Vordergrund dieser Studie, speziell in der ersten und teilweise auch in der zweiten Generation wurden jedoch Fortpflanzungs- und Entwicklungsparameter wie Fertilitäts-Index, Trächtigkeitsdauer, Wurfgrößen, Frühgeburtenrate, Gewichtsentwicklung der Muttertiere, Geburtsgewichte der Nachkommen, sowie bei den Nachkommen der 1. Generation Missbildungsrate, Öffnung der Augen und des äußeren Gehörgangs, Durchbruch der oberen Schneidezähne systematisch erfasst. Auch hier zeigten sich keine Unterschiede zwischen exponierten Tieren und scheinexponierten Kontrollen.

## **I.9 ELEKTROSENSIBILITÄT**

### **I.9.1 Ausgangslage, Beschwerden der Betroffenen und Expositionsquellen**

In einer speziellen repräsentativen Befragung Ende des Jahres 2004, die im Rahmen des DMF durchgeführt wurde, gaben 6 % der Befragten konkrete und öfter auftretende gesundheitliche Beschwerden an, die sie auf das Vorhandensein von elektromagnetischen Feldern zurückführen. Knapp 1,5 % der Befragten bezeichnete sich als elektrosensibel. Diese Personen leiden unter vielfältigen gesundheitlichen Beschwerden, die sie in einen ursächlichen Zusammenhang mit einer Exposition mit nieder- und/oder hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bringen. Die gesundheitlichen Beschwerden sind sehr vielfältig, im Rahmen einer Vorläuferstudie wurde aus der einschlägigen Literatur eine Liste mit 36 Beschwerden erstellt (Frick *et al.*, 2006). Es handelt sich um unspezifische gesundheitliche Beeinträchtigungen, die in der Bevölkerung weit verbreitet sind. Häufig genannt werden Schlafstörungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsstörungen. In der Vorläuferstudie wurde anhand einer repräsentativen Befragung in der Bevölkerung der Stadt Regensburg die Prävalenz dieser Beschwerden ermittelt. Bei einer genaueren Analyse der Daten ergaben sich keine Hinweise auf ein spezifisches Muster von Symptomen, das möglicherweise die Existenz einer Untergruppe von „elektrosensiblen“ Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt hätte. Stattdessen konnte anhand der Ergebnisse dieser Studie davon ausgegangen werden, dass die Beschwerden in der Bevölkerung mit unterschiedlichem Level gleichmäßig verteilt sind. Außerdem treten die Beschwerden denen ein Bezug zu hochfrequenten elektromagnetischen Felder zugeschrieben wird auch bei Beschwerdekplexen, die anderen Umweltfaktoren zugeschrieben werden, in ähnlicher Zusammensetzung auf. Die Elektrosensiblen selbst geben häufig an, verstärkt an Allergien zu leiden bzw. besonders hoch mit Schwermetallen und anderen Chemikalien belastet zu sein.

Als Quelle elektromagnetischer Felder im Zusammenhang mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen wurden anfangs vor allem Bildschirme genannt, hinzu kamen dann im Laufe der Jahre Hochspannungsleitungen, elektrische Leitungen und Elektrogeräte. In letzter Zeit werden vor allem die modernen Kommunikationsmittel als Ursache der Beschwerden genannt. Da das Phänomen „Elektrosensibilität“ anfangs vor allem in den skandinavischen Ländern beschrieben wurde (Bergqvist *et al.*, 1997), wurden zunächst dort, später auch in anderen Ländern, entsprechende Untersuchungen durchgeführt, vor allem mit dem Ziel, die Frage des Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs zwischen EMF und den Beschwerden zu klären.

Zu diesem Zweck wurden elektrosensible Probanden und nach Möglichkeit auch Kontrollpersonen nieder- oder hochfrequenten Feldern z. B. eines Mobiltelefons ausgesetzt. Während oder nach der Exposition wurden sie befragt, ob sie ein Feld gespürt hatten bzw. ob sie gesundheitliche Beschwerden hatten. In doppelt-blind durchgeführten Untersuchungen, d.h. wenn weder die Probanden noch die Untersucher wussten, ob ein Feld vorhanden war, konnten bei den meisten Untersuchungen weder die elektrosensiblen noch die Kontrollpersonen überzufällig häufig richtig angeben, ob das Feld an- oder ausgeschaltet war. Genauso wenig korrelierten die angegebenen Beschwerden damit, ob das Feld an- oder ausgeschaltet war (Rubin 2005). Bei den wenigen Studien, die einen Zusammenhang zwischen Exposition und EMF ergaben, konnten die Autoren entweder ihre eigenen Ergebnisse nicht reproduzieren oder aber die Studien zeigten statistische Unsicherheiten.

### **I.9.2 Ursache-Wirkungs-Zusammenhang**

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms drei biologisch/medizinische Studien durchgeführt („Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter“; „Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen“ und „Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien“), die zum Ziel hatten, das Phänomen „Elektrosensibilität“ besser zu beschreiben. Es sollte einerseits die Frage nach einem möglichen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und den Beschwerden der Betroffenen geklärt werden und außerdem nach möglichen anderen Ursachen und begleitenden Faktoren gesucht werden.

Da es kein Diagnose-Verfahren für Elektrosensibilität gab, musste bei der Auswahl der Probanden auf die „Selbstdiagnose“ der Betroffenen zurückgegriffen werden. Für alle Studien wurden daher die elektrosensiblen Probanden in erster Linie durch entsprechende Aufrufe in der Presse, Ankündigungen in Arztpraxen oder die Zusammenarbeit mit Selbsthilfegruppen rekrutiert. Anhand von vorher festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien wurden geeignete Probanden ausgewählt, die einerseits keine schwerwiegende Grunderkrankung haben sollten und andererseits konkrete Beschwerden angeben konnten, die sie auf das Vorhandensein von EMF im Alltag zurückführten.

In einer Studie („Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter“) wurden den elektrosensiblen Personen und nach Alter und Geschlecht vergleichbaren Kontrollen mit Hilfe der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) am Kopf Magnetimpulse mit steigender Intensität appliziert. Alternativ dazu erhielten sie „Scheinimpulse“. Die Probanden sollten jeweils angeben, ob sie einen Impuls gespürt hatten oder nicht. Dabei konnten die

elektrosensiblen Personen deutlich schlechter als die Kontrollpersonen zwischen echten und Scheinimpulsen unterscheiden, da sie häufig auch bei Scheinimpulsenangaben etwas gespürt zu haben. Ähnliche Ergebnisse waren bereits in einem Vorläufervorhaben erzielt worden. Bei der aktuellen Untersuchung im Rahmen des DMF wurden auch ältere Personen einbezogen, so dass eine Altersabhängigkeit untersucht werden konnte: Bei den Kontrollpersonen nahm die Diskriminierungsfähigkeit mit zunehmendem Alter ab, bei den Elektrosensiblen war dies nicht der Fall.

Zusätzlich zur subjektiven Wahrnehmungsschwelle wurde mit Hilfe der TMS die objektive motorische Schwelle bestimmt. Hierzu wurde die, bei geeigneter Positionierung der Spule, durch die Magnetimpulse hervorgerufene Muskelaktivität des kleinen Fingers der rechten Hand abgeleitet. Bei steigender Intensität der Magnetimpulse zeigte sich eine große Bandbreite der Wahrnehmungsschwellen sowohl bei den Kontrollen als auch bei den elektrosensiblen Personen. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ergaben sich nicht.

Unterschiedliche Wahrnehmungsschwellen lassen sich auch z. B. gegenüber 50 Hz Wechselstrom feststellen. Bei einer entsprechenden Untersuchung einer Bevölkerungsstichprobe der Stadt Graz beobachteten Leitgeb und Schröttner (2003) die Existenz einer gegenüber elektrischem Wechselstrom sehr sensitiven Subpopulation. Diese Personengruppe wird als „elektrosensitiv“ bezeichnet und auf etwa 2 % der Bevölkerung geschätzt (Leitgeb, 1998).

In der zweiten Studie zur Elektrosensibilität, die im Rahmen des DMF durchgeführt wurde („Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen“), zeigte sich bei den ausgewählten elektrosensiblen Probanden eine gegenüber der Allgemeinheit erhöhte Elektrosensitivität. Dies steht im Widerspruch zu anderen Untersuchungen, bei denen die Gruppe der elektrosensitiven Personen in der Regel nicht mit der Gruppe übereinstimmte, die über Beschwerden im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern klagte (z. B. Müller *et al.* 2002).

Hauptziel der DMF Studie war es, die Schlafqualität der elektrosensiblen Personen in häuslicher Umgebung mit und ohne Abschirmung elektromagnetischer Felder zu vergleichen. Um doppelt-blinde Untersuchungsbedingungen zu gewährleisten, wurde entweder ein schirmender Baldachin verwendet oder ein völlig gleich aussehender, der die hochfrequenten Felder nicht abschirmte.

Es zeigte sich, dass eine Abschirmung der hochfrequenten Felder nicht zu einer Verbesserung der Schlafqualität führte. Bei einem Teil der Probanden führte aber der Glaube an eine Schirmwirkung des Baldachins zu einer subjektiv empfundenen Verbesserung der Schlafqualität. Die objektiv gemessenen Schlafparameter waren aber nicht verändert.

Insgesamt ergab sich nach Meinung des BfS kein Nachweis, dass die Beschwerden der elektrosensiblen Personen in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Exposition durch elektromagnetische Felder stehen. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen vieler nationaler und internationaler Studien. Einer Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2005 kommt zu der Schlussfolgerung, dass es keinen überzeugenden Nachweis für Elektrosensibilität gegenüber elektromagnetischen Feldern gebe (Rubin *et al.* 2005). In dieser Übersicht wurden 31 Provokationsstudien mit elektrosensiblen Probanden ausgewertet. In 24 dieser Studien wurden keine Belege für einen Zusammenhang zwischen EMF und den Beschwerden der Elektrosensiblen gefunden. In zwei Untersuchungen wurde ein Zusammenhang gefunden, die Autoren konnten aber später ihre eigenen Ergebnisse nicht reproduzieren. Die in 3 Studien berichteten Befunde werden als statistische Artefakte bewertet, die durch multiples Testen zustande kamen. Zwei Studien zeigten widersprüchliche Ergebnisse.

Bei einer Untersuchung, die im Rahmen des englischen Mobilfunk-Forschungsprogramms durchgeführt wurde, wurden die elektrosensiblen Probanden und Kontrollpersonen einer Exposition mit hochfrequenten Feldern, wie sie durch Mobilfunk-Basisstationen (GSM und UMTS) zustande kommen, ausgesetzt (Eltiti *et al.* 2007). Im doppelt-blind durchgeführten Teil der Untersuchungen ergaben sich weder bei den elektrosensiblen Personen noch bei den Kontrollpersonen Hinweise auf eine Zunahme der Zahl der Beschwerden bzw. deren Intensität aufgrund der hochfrequenten Felder. Wenn die Probanden aber zuvor über die Exposition informiert wurden, klagten die Elektrosensiblen über ein verschlechtertes Wohlbefinden sowohl unter GSM- als auch unter UMTS-Exposition, während die Kontrollpersonen nur bei angekündigter UMTS-Exposition vermehrt über Symptome berichteten.

### **1.9.3 Medizinische Parameter**

Elektrosensible Personen behaupten häufig von sich, sie seien besonders hoch mit Chemikalien belastet, hätten geringere Entgiftungskapazitäten und hätten im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung mehr und ausgeprägtere Allergien. Diese Eigenschaften seien an der Elektrosensibilität beteiligt. Daher wurde im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens dieser mögliche Zusammenhang an 130 elektrosensiblen Personen und 101 Kontrollpersonen näher untersucht („Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien“). Zusätzlich wurden weitere medizinisch relevante Daten erhoben. Das eingesetzte Instrumentarium

umfasste Fragebögen u. a. zu den Beschwerden, zur medizinischen Historie, zur Chemikalien-Sensibilität, zu verschiedenen Persönlichkeitsmerkmalen, zur Schlafqualität und zu verschiedenen biologisch/medizinischen Tests. In den biologisch / medizinischen Tests wurden verschiedene Laborwerte im Blut, die Herzratenvariabilität, verschiedene Parameter im Zusammenhang mit der Entgiftungskapazität der Leber und der immunologischen Kapazität und mehrere Schwermetalle im Blut bestimmt.

Dabei zeigte sich, dass ein Teil der elektrosensiblen Personen von psychiatrischen Begleiterkrankungen betroffen war, wobei aber gravierende, akute psychiatrische Erkrankungen bei der Rekrutierung der Probanden ausgeschlossen wurden. Die Depressivität war bei den Elektrosensiblen höher, die gesundheitsbezogene Lebensqualität geringer als bei den Kontrollpersonen, während sich bei der allgemeinen Lebenszufriedenheit keine signifikanten Unterschiede zeigten. Besonders auffallend war das signifikant deutlich höhere Vorkommen von somatoformen Störungen bei den elektrosensiblen Personen im Vergleich zu den Kontrollpersonen. Die betroffenen Personen geben an, an körperlichen Symptomen zu leiden, für die keine bzw. keine adäquate körperliche Ursache gefunden werden kann. Am häufigsten trat mit 38 % die somatoforme autonome Funktionsstörung auf. Die Symptome werden hierbei so geschildert, als beruhten sie auf der körperlichen Krankheit eines Organsystems, das weitgehend oder vollständig vegetativ innerviert und kontrolliert wird, also z. B. des Herz-Kreislauf- oder des Magen-Darm-Systems.

Bei den ermittelten Laborwerten zeigten sich insbesondere im Zusammenhang mit „Eisenmangel“, „Schilddrüsenunterfunktion“ und „Leberfunktion“ keine signifikanten Unterschiede zwischen Elektrosensiblen und Kontrollpersonen und auch keine Abweichungen von den Normalwerten, so dass die entsprechenden Erklärungsmodelle für die Elektrosensibilität verworfen werden können. Andererseits lassen sich daher auch die Beschwerden der Elektrosensiblen nicht mit den entsprechenden Funktionsstörungen erklären.

Von den gemessenen Schwermetallen war das Kupfer deutlich erhöht, während der Cadmium-Gehalt im Blut etwas erniedrigt war. Beide Veränderungen lassen sich aber durch Lebensgewohnheiten erklären. Elektrosensible Personen essen möglicherweise mehr „biologische“ Lebensmittel (deren Konsum allerdings nicht gemessen wurde), die vermehrt mit Kupfersalzen zur Verhinderung von Pilzbefall behandelt werden. Die erniedrigten Cadmiumwerte könnten darauf zurückzuführen sein, dass in der Gruppe der Elektrosensiblen deutlich weniger geraucht wurde als in der Kontrollgruppe. Beim Quecksilber, das wegen seiner Verwendung im Amalgam besonders oft im Zusammenhang mit Elektrosensibilität genannt wird, ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Elektrosensiblen und den Kontrollpersonen.

Die Reaktivität gegenüber 75 verschiedenen Allergenen wurde mit Hilfe eines Allergiechips getestet, es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Elektrosensiblen und Kontrollpersonen.

Die Herzratenvariabilität lässt Aussagen im Hinblick auf das vegetative Nervensystem zu. Eine besondere Überempfindlichkeit oder Dauerreizung des vegetativen Nervensystems ließ sich bei den Elektrosensiblen nicht feststellen.

In einer zweiten Studie („Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter“) wurden verschiedene medizinische Parameter, mit deren Hilfe Rückschlüsse auf eine mögliche Verschlechterung des Gesundheitszustands bei chronisch stressbelasteten Personen gezogen werden können bestimmt (allostatic load). Die Messung dieser Parameter ergab keine Unterschiede zwischen Elektrosensiblen und Kontrollpersonen.

Außerdem wurden im Hinblick auf mögliche genetische Unterschiede zwischen Elektrosensiblen und Kontrollen Gene für neuronale Rezeptoren (Serotonin-Transporter-Promoter-Gen, Dopamin-D4 Rezeptor-Gen) untersucht. Es zeigten sich aber keine Unterschiede hinsichtlich der genetischen Ausstattung bei diesen beiden Merkmalen zwischen Elektrosensiblen und Kontrollpersonen.

#### **1.9.4 Mögliche Faktoren, die zur Entstehung oder Aufrechterhaltung der Elektrosensibilität beitragen**

Einige weitere im Rahmen des DMF erzielte Ergebnisse geben Hinweise auf Faktoren, die zur Entstehung bzw. Aufrechterhaltung des Phänomens „Elektrosensibilität“ beitragen könnten.

Mit Hilfe der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) wurde in Doppel-Puls-Untersuchungen nach Veränderungen der Erregbarkeit der Hirnrinde gesucht. Bei kurzen zeitlichen Intervallen (2 ms) zwischen zwei Magnetpulsen ergibt sich eine Inhibition (Hemmung) des nachfolgenden motorischen Potenzials, bei langen Intervallen (15 ms) dagegen eine Fazilitation (Verstärkung). Die elektrosensiblen Personen wiesen eine gegenüber den Kontrollpersonen veränderte Fazilitation auf. Die in einer Vorläuferstudie erzielten Ergebnisse konnten somit teilweise bestätigt werden. Wegen der Einbeziehung älterer Personen in diese Studie zeigte sich aber erstmals eine Altersabhängigkeit dieses Effektes. Die jüngeren Elektrosensiblen wiesen eine gegenüber der Kontrollgruppe signifikante Verminderung der intrakortikalen Fazilitation (ICF) auf, während bei den älteren Elektrosensiblen die ICF im Vergleich zu ihrer Kontrollgruppe signifikant erhöht war.

In einer 2006 publizierten Studie wurden 15 männliche, junge und gesunde Probanden an der immer gleichen linken Gehirnhälfte mit hochfrequenten Feldern exponiert, die denen eines GSM-Handys entsprachen (Ferreri *et al.*, 2006). Mittels transkranieller Magnetstimulation wurde die Exzitabilität der gegenüberliegenden, nie exponierten rechten Gehirnhälfte mit der der linken Hirnhälfte verglichen. Dabei zeigte sich unmittelbar nach der realen GSM-Exposition und noch eine Stunde danach ein bedeutsamer Anstieg der Fazilitation im motorischen Bereich der Hirnrinde. Eine gesicherte Aussage über die gesundheitliche Bedeutung dieses Effektes ist derzeit nicht möglich.

Die jüngeren elektrosensiblen Probanden des DMF-Vorhabens wiesen im Gegensatz dazu eine Verminderung der ICF auf, sie waren aber nicht mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponiert worden.

Eine Reihe von Untersuchungen zur Bedeutung der ICF deutet aber darauf hin, dass sie Hinweise gibt auf die Anpassungsfähigkeit des Nervensystems (Butefisch *et al.*, 2000; Plewnia *et al.*, 2002). Eine Erhöhung der Fazilitation bedeutet demnach eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an äußere Einflüsse. Demzufolge weisen die jüngeren Elektrosensiblen gegenüber den Kontrollpersonen eine schlechtere neuronale Anpassungsfähigkeit auf, während sie bei den älteren Elektrosensiblen im Vergleich zu den Kontrollpersonen besser ist. Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang auch die Beobachtung, dass bei der TMS gerade die jüngeren Elektrosensiblen im Vergleich zu ihren Kontrollpersonen schlechter zwischen echten und Scheinimpulsen unterscheiden konnten.

Die mit Hilfe der funktionellen Kernspintomographie (fMRI) an 15 Elektrosensiblen und 15 Kontrollpersonen ermittelten Daten deuten in eine ähnliche Richtung. Die Probanden erhielten einerseits Wärmereize mit steigender Intensität am linken Unterarm und andererseits wurden ihnen Handysignale angekündigt, mit denen sie dann anschließend vermeintlich exponiert wurden. Dabei wurde jeweils die kortikale Aktivität bestimmt und die Probanden mussten mit Hilfe eines kleinen mit Tasten versehenen Geräts angeben, ob sie etwas gespürt hatten und wie stark die Empfindung war. Bei Exposition mit Wärmereizen zeigten die Elektrosensiblen das gleiche Aktivierungsmuster wie die Kontrollpersonen. Bei Exposition mit einem scheinbaren "Handysignal" wurde bei den Kontrollpersonen keine Aktivierung spezieller Hirnareale beobachtet, bei den elektrosensiblen Personen waren dagegen Hirnareale aktiviert, die an antizipatorischen (d. h. vorwegnehmenden) Prozessen beteiligt sind. Außerdem berichtete ein Teil der Elektrosensiblen über Beschwerden während der scheinbaren Handyexposition bzw. glaubte eine Strahlung gespürt zu haben.

Weitere Hinweise auf eine gegenüber der Allgemeinbevölkerung veränderte Verarbeitung externer Einflüsse ergaben sich bei der Auswertung der mit Hilfe eines Fragebogens gewonnenen Daten hinsichtlich der Ausprägung dysfunktionaler Kognitionen (ungünstige Bewertungen, Einstellungen). Der Fragebogen enthielt 42 Statements über den Umgang mit der Elektrosensibilität und deren subjektive Bedeutung. Anhand der Beantwortung von 6 spezifischen Fragen aus dem Fragebogen und der benötigten Zeit für die Bearbeitung des Beschwerdefragebogens ließen sich die Probanden mit hoher Trefferquote den Elektrosensiblen oder den Kontrollpersonen zuordnen.

In der Studie, bei der die Elektrosensiblen hinsichtlich verschiedener Begleitfaktoren untersucht wurden, zeigte sich, dass signifikant deutlich mehr Elektrosensible als Kontrollpersonen an somatoformen Störungen leiden, d. h. dass für die von ihnen beschriebenen körperlichen Symptome keine bzw. keine adäquate körperliche Ursache gefunden werden kann.

Ein weiteres Indiz ergab sich in der Studie zur Schlafqualität der Elektrosensiblen, wo bei einem Teil der Probanden bereits der Glaube an eine Schirmung die subjektive Schlafqualität verbesserte.

Ähnliche Effekte werden auch bei den bisher publizierten Untersuchungen zur Elektrosensibilität berichtet. So klagten z. B. bei der Studie im Rahmen des englischen Forschungsprogramms die elektrosensiblen Probanden über eine verschlechtertes Wohlbefinden sowohl unter GSM- als auch unter UMTS-Exposition wenn sie zuvor über die Exposition informiert wurden, während im doppelt-blind durchgeführten Untersuchungsteil keine Auswirkungen der Exposition beobachtet wurden (Eltiti *et al.*, 2007).

### **1.9.5 Fazit aus Sicht des BfS**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein ursächlicher Zusammenhang zwischen EMF und den Beschwerden der elektrosensiblen Personen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Auch für die von den Betroffenen behauptete im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung erhöhte Belastung mit Allergien und Chemikalien bzw. eine verringerte Entgiftungskapazität der Leber ergaben sich keine Belege. Hinsichtlich sonstiger medizinischer Parameter wurden bei den elektrosensiblen Personen teilweise Abweichungen von der Allgemeinbevölkerung bzw. von den entsprechenden Kontrollpersonen gefunden. Es zeigte sich, dass die Elektrosensiblen eine heterogene Gruppe darstellen, die nicht mit einem einfachen Modell zu beschreiben ist. Als mögliche Erklärung für das Entstehen bzw. die Aufrechterhaltung der Elektrosensibilität bietet sich aber nach den Ergebnissen im DMF eine fehlerhafte Verarbeitung von Umwelteinflüssen bzw. eine schlechtere Anpassungsfähigkeit des Nervensystems an Umweltreize an.

Da die Elektrosensibilität für einige Betroffene ein ernsthaftes gesundheitliches Problem darstellt und sie unter hohem Leidensdruck stehen, ist die weitere Suche nach auslösenden oder zur Aufrechterhaltung führenden Faktoren für das Krankheitsbild notwendig. Außerdem sollten der zeitliche Verlauf der Elektrosensibilität über einen längeren Zeitraum hinweg und mögliche Verbindungen zu anderen Krankheitsbildern, für die Umwelteinflüsse als Ursache angegeben werden (wie z. B. multiple Chemikaliensensibilität) untersucht werden. Diese Untersuchungen wären auch hilfreich, um Voraussetzungen für effektive Therapiemaßnahmen zu erarbeiten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine verbesserte Definition des Krankheitsbildes, die zu einer objektiveren Auswahl der Probanden und damit hoffentlich zu einer homogeneren Probandengruppe führen sollte.

Diese Fragestellungen sind aber unter dem Aspekt, dass kein ursächlicher Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern besteht, nicht im Rahmen des Strahlenschutzes zu behandeln.

## **I.10. FAZIT BIOLOGIE**

Zusammengefasst ergeben sich aus den experimentellen Studien des DMF insgesamt keine Hinweise auf gesundheitsrelevante Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der Grenzwerte auf Krebserkrankungen des blutbildenden Systems, Sinnesorgane, Kognitive Leistungsfähigkeit, EEG, Schlaf, akute Befindlichkeitsstörungen, die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, Stressantwort und Immunsystem oder Fortpflanzung und Entwicklung. Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den Beschwerden elektrosensibler Personen und elektromagnetischen Feldern konnte nicht bestätigt werden. Aus den tierexperimentellen Studien ergeben sich keine Hinweise auf eine besondere Empfindlichkeit früher Entwicklungsstadien, die Frage eines möglicherweise höheren gesundheitlichen Risikos von Kindern kann im Rahmen des DMF jedoch nicht abschließend beantwortet werden. Hier muss auch zukünftig versucht werden, mit geeigneten experimentellen und epidemiologischen Studien die Datenbasis weiter zu verbessern. Ebenfalls nicht abschließend zu klären ist die Frage nach Langzeitwirkungen am Menschen, v. a. über einen Zeithorizont von 10 Jahren hinaus, sowohl für Erwachsene als auch für Kinder. Auch dieser Aspekt muss weiter verfolgt werden, insofern wird auf die Schlussfolgerungen im Abschnitt Epidemiologie verwiesen.

## **II. BEWERTUNG DER STUDIEN AUS DEM BEREICH EPIDEMIOLOGIE**

### **II.1 AKUTE EFFEKTE**

Die starke Zunahme von Mobilfunk in den letzten Jahren führte zu einer vermehrten Besorgnis der Bevölkerung über mögliche akute gesundheitliche Effekte sei es durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen, die Nutzung von Mobiltelefonen oder schnurlosen Telefonen. In diesem Zusammenhang wurden häufig unspezifische Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Nervosität, Konzentrationsschwierigkeiten und anderes genannt. Zu Beginn des DMF lagen nur sehr wenige epidemiologische Studien zu dieser Thematik vor (Berg *et al.* 2003). Diese umfassten hauptsächlich Studien zu Befindlichkeitsstörungen durch die Nutzung von Mobiltelefonen (Ofstedal *et al.* 2000, Sandstrom *et al.* 2001, Chia *et al.* 2000) oder durch Felder von Mobilfunkbasisstationen (Santini *et al.* 2003, Navarro *et al.* 2003). Die Ergebnisse waren widersprüchlich und aufgrund methodischer Probleme häufig wenig belastbar.

Insbesondere im Hinblick auf Studien zu Befindlichkeitsstörungen durch die Felder von Basisstationen wurde die Machbarkeit von epidemiologischen Studien anfangs sehr kritisch diskutiert (Neubauer *et al.* 2007). Dies betraf hauptsächlich die Abschätzung der Exposition. So nutzten manche Studien das simple Abstandsmaß zwischen Basisstation und Wohnung (Santini 2003), welches nachweislich kein ausreichendes Surrogat für die tatsächliche Exposition ist. Idealerweise sollte ein Personendosimeter, das alle hochfrequenten elektromagnetischen Felder über einen längeren Zeitraum misst, zum Einsatz kommen. Solche Personendosimeter lagen aber zu Beginn des DMF noch nicht vor. Ein anderes Problem dieser Studien betraf die valide Ermittlung der gesundheitlichen Beschwerden, ebenso wie die Gewährleistung einer verzerrungsfreien Auswahl der Probanden.

Die WHO-Research Agenda 2003 (WHO 2003) hat vor diesem Hintergrund angeregt, große Expositionssurveys durchzuführen, um Kenntnisse zur Verteilung der Exposition von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Bevölkerung zu erhalten sowie Strategien zu entwickeln, um eine bevölkerungsbezogene Expositionsabschätzung der HF-Felder in großen Feldstudien vornehmen und so epidemiologische Studien implementieren zu können. Nachdem sich abzeichnete, dass der Einsatz von Personendosimetern zur Abschätzung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder zukünftig möglich sein würde, wurden im DMF zwei Querschnittsstudien zu Befindlichkeitsstörungen durch Mobilfunk gefördert, eine Studie zu Erwachsenen und eine Studie zu Kindern und Jugendlichen.

## II.1.1 Akute Effekte bei Erwachsenen

Ziel der Querschnittsstudie bei Erwachsenen („Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“) war es zu klären, ob die elektromagnetischen Felder von Basisstationen einen Einfluss auf die gesundheitlichen Beschwerden der Anwohner haben und welche Rolle dabei andere Faktoren wie zum Beispiel Angst vor Basisstationen spielen.

Hierzu fand eine bevölkerungsweite Befragung von Personen im Alter von 14 bis 69 Jahren statt. Die Befragung in den Haushalten des sog. „Health Care Access Panels“ (Pothoff *et al.* 2004) fand zwischen August und November 2004 statt. Von den angeschriebenen 51.444 Personen beteiligten sich 30.047 an der Befragung (Teilnahmerate 58,4 %). Die Teilnehmer ergeben eine nach Altersklassen, Geschlecht und Bundesländer gute Annäherung an die Zusammensetzung der in den deutschen Privathaushalten lebenden Personen. Die Probanden wurden schriftlich zu gesundheitlichen Beschwerden, zu Besorgnis und Beeinträchtigung durch Basisstationen und zu Wohncharakteristika befragt. 28 % der Probanden gaben an sich Sorgen wegen der Felder von Basisstationen zu machen, 11% fühlten sich durch die Felder gesundheitlich beeinträchtigt. Dabei zeigt sich ein starkes Nord-Süd-Gefälle, mit den stärksten Bedenken in Bayern und den geringsten in Mecklenburg-Vorpommern. Vor allem Personen im Alter zwischen 30 und 50 Jahren, Personen mit höherer Schulausbildung (Fach-/Hochschulreife) und Personen, die angaben, in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation zu wohnen, äußerten häufiger Bedenken. Die Ergebnisse dieses bundesweit repräsentativen Querschnitts passen gut zu den Ergebnissen von Befragungen zur Risikowahrnehmung im Rahmen des DMF-Programms (siehe Anhang 1, Kap. IV.1.3)

Zusätzlich wurde in der Studie die Distanz zwischen Wohnung und Standort der Basisstationen auf Basis der jeweiligen Geokoordinaten berechnet und eine grobe Expositionsabschätzung unter Berücksichtigung von relevanten Variablen zur Wohnsituation und –umgebung sowie der Antennencharakteristika durchgeführt (siehe auch Anhang 1, Kap. III.1.1.7). Es zeigte sich, dass im Jahr 2004 47 % der Privathaushalte in Deutschland keine Basisstation im Umkreis von 500 m hatten und damit praktisch keine Exposition gegenüber Feldern von Mobilfunkbasisstationen. Die 53 % der Privathaushalte, die im 500 m Umkreis einer Basisstationen lagen, wiesen nach dem Expositionssurrogat eine mediane Leistungsflussdichte von 0,006 mW/m<sup>2</sup> auf und lagen damit weit unter dem Grenzwert.

In einem zweiten Schritt wurden bei einer regionalen Auswahl von 4.150 Probanden der oben genannten Querschnittserhebung relevante Störgrößen und im Detail gesundheitliche Beschwerden über validierte Fragebögen schriftlich abgefragt. Die Teilnahmerate betrug 85 % (n = 3.526 Teilnehmer). Ursprüngliches Ziel war es, in dieser Gruppe auf Basis des Expositionssurrogats Risikoanalysen durchzuführen. Eine interne Validierungsstudie zeigte zwar einen befriedigenden Zusammenhang zwischen tatsächlicher Messung und dem Expositionssurrogat, eine externe Validierung stand jedoch noch aus, um eine abschließende Bewertung des Expositionssurrogats vorzunehmen. Da inzwischen im Feld erprobte Personendosimeter für die Expositionsabschätzung zur Verfügung standen, wurden diese bei den Probanden eingesetzt, die sich mit einer Messung einverstanden erklärten (sog. „Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie“). So konnte bei 1.808 Probanden eine 20-minütige Messung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder im Schlafzimmer mit Hilfe von Personendosimetern der Firma Antenessa durchgeführt werden. Dabei wurden getrennt die Felder von Mobilfunkbasisstationen (GSM-900, GSM-1800, UMTS), von Radio- und Fernsehsendern, DECT und WLAN aufgezeichnet.

Für jeden Probanden wurde die gemessene Gesamtfeldstärke der hochfrequenten elektromagnetischen Felder der Basisstationen berechnet und eine Einteilung in die 10 % am höchsten bzw. die 90 % niedriger exponierten Probanden vorgenommen. Cutpoint hierfür war das 90 % Perzentil mit 0,0993 V/m. Folgende fünf Zielgrößen wurden definiert: Kopfschmerzen (gemessen über Headache Impact Test), Schlafstörungen (gemessen über den Pittsburgh Sleep Quality Index), Beschwerden allgemein (gemessen über die Beschwerdeliste von Zerssen), gesundheitliche Lebensqualität physisch und psychisch (gemessen über SF-36 Fragebogen). Als potentielle Störgrößen wurden im Regressionsmodell Alter, Geschlecht, Wohnumgebung, Handynutzung, chronischer Stress, Ängstlichkeit und Depressivität berücksichtigt. Nach Ausschluss von Probanden mit fehlenden Werten in interessierenden Variablen verblieben als endgültiger Datensatz für die Risikoanalysen 1.326 Probanden.

Die Studie erbrachte folgende Ergebnisse:

- 1) Es wurde kein Zusammenhang zwischen den gemessenen Feldern von Basisstationen und den fünf untersuchten Zielvariablen (Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Beschwerden allgemein, gesundheitliche Lebensqualität psychisch oder physisch) beobachtet.
- 2) Das Zurückführen („Attribution“) von gesundheitlichen Beschwerden auf die Felder von Basisstationen ist statistisch signifikant mit Schlafstörungen und Beschwerden allgemein assoziiert, nicht aber mit den Zielvariablen Kopfschmerzen und gesundheitliche Lebensqualität psychisch und physisch.

Zu den Stärken der Studie gehört der große Stichprobenumfang, der Einsatz von Personendosimetern zur Expositionsabschätzung, das Erfassen und Berücksichtigen von wesentlichen Störgrößen in den Risikomodellen, das Erfassen und Berücksichtigen von anderen HF-EMF Quellen wie Radio- und Fernsehsender, DECT, WLAN,

etc.. Zu den Schwächen der Studie gehört, dass die Beschwerden nicht zeitgleich mit der Exposition erhoben wurden. Es wurde jedoch am Tag der Messung zusätzlich ein Kurzfragebogen zu Kopfschmerzen und Schlafstörungen eingesetzt. Sensitivitätsanalysen auf Basis dieser Variablen zeigten ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen Beschwerden und HF-Feldern, was gegen eine verzerrte Risikoschätzung spricht. Des Weiteren wurde keine 24-Stunden Messung durchgeführt, sondern nur eine 20-minütige Messung im Schlafzimmer, dem Zimmer, in dem man sich am längsten aufhält. Die Messung wurde tagsüber gemacht. Tag-/ Nachtschwankungen spielen jedoch keine so große Rolle.

Inwiefern das oben genannte Expositionssurrogat eine geeignete Expositionsabschätzung darstellt, wurde zusätzlich durch eine externe Validierungsstudie „Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie“ geprüft. Das Rechenmodell liefert – vorausgesetzt, dass die Eingangsdaten mit hinreichender Genauigkeit zur Verfügung stehen – eine grobe erste Expositionsquantifizierung. Die Erfahrungen aus der Querschnittsstudie zeigen allerdings, dass die zur Immissionsberechnung aus epidemiologischen Studien zur Verfügung stehenden Daten allgemein mit erheblich höheren Unsicherheiten behaftet sind als die Datengrundlage, die zur Entwicklung des Modells verwendet wurde. Das Modell kann in epidemiologischen Studien daher nur dann eingesetzt werden, wenn es gelingt, die Unsicherheiten bei den Eingangsdaten erheblich zu reduzieren. Dies betrifft vor allem die Geokodierung von Basisstationen und Wohnungen, Umgebungsbebauung, etc..

Die Ergebnisse dieser Querschnittsstudie deuten darauf hin, dass die Felder von Basisstationen keine gesundheitlichen Beschwerden verursachen. Die einzige weitere bisher publizierte aussagekräftige Querschnittsstudie (Hutter *et al.* 2006) hat andere Fragebogeninstrumentarien verwendet und ist von daher nicht direkt vergleichbar. Die Studie zeigte aber bezüglich Schlafstörungen, der meist genannten Beschwerde im Hinblick auf Basisstationen, ebenfalls keinen Zusammenhang mit den gemessenen Feldern von Basisstationen, sobald nach der Variable Angst vor Basisstationen adjustiert wurde. Für Kopfschmerzen wurde allerdings ein Anstieg in der Prävalenz mit steigender gemessener Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder gefunden. Dies kann bei der Vielzahl von untersuchten Einzelbeschwerden aber auch Zufall sein. Bei der Gesamtbewertung eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs von akuten Effekten durch Mobilfunk müssen auch die Ergebnisse der experimentellen Probandenstudien (siehe Anhang 1, Kap. I) herangezogen werden. Diese zeigen übereinstimmend ebenfalls keinen Zusammenhang.

## II.1.2 Akute Gesundheitseffekte bei Kindern und Jugendlichen

Ziel der zweiten Querschnittsstudie im DMF „Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern“ war es zu klären, ob die elektromagnetischen Felder von Basisstationen oder Mobiltelefonen zu akuten Befindlichkeitsstörungen bei Kindern und Jugendlichen führt. Auf Basis einer regional stratifizierten Zufallsauswahl wurden insgesamt 1.500 Kinder im Alter von 8 bis 12 Jahren und 1.500 Jugendliche im Alter von 13 bis 17 Jahren aus Bayern in die Studie einbezogen. Es wurden ausführliche Interviews zur allgemeinen Befindlichkeit und zu potentiellen Störgrößen (Medienkonsum, Umweltbesorgnis, soziale Unterstützung, familiäre Probleme, schulische Probleme, etc.) bei den Kindern (bzw. Eltern) und Jugendlichen durchgeführt sowie ein Symptomtagebuch eingesetzt. Parallel dazu wurde über 24 Stunden die individuelle Exposition gegenüber Mobilfunk mit Hilfe von Personendosimetern gemessen (Radon *et al.* 2006). Diese Dosimeter erlaubten die Einteilung in 3 Frequenzbänder GSM-900 (Summe Up/downlink), GSM-1800 (Summe E-Netz, UMTS, DECT) und WLAN. Folgende Analysen werden vorgenommen:

- 1) Es wird die aktuelle gemessene Exposition über je 8 Stunden (morgens, nachmittags/abends und nachts) in Verbindung zur akuten Befindlichkeit (mittags, abends, nach dem Aufwachen) gesetzt, sowie die über 24 h gemessene Exposition mit dem allgemeinen Befinden.
- 2) Es wird die selbst eingeschätzte aktuelle Exposition in Beziehung zur akuten Befindlichkeit gesetzt, sowie die selbst eingeschätzte allgemeine Exposition zum allgemeinen Befinden. Die gemessene Exposition wird quantifiziert in Form der kumulativen Gesamtexposition über jeweils 8 h und über 24 h.

Diese Studie war längerfristig angelegt und ging über den Zeitrahmen des DMF hinaus. Die Ergebnisse werden in einem Supplement zu diesem Bericht beschrieben.

## II.2 CHRONISCHE EFFEKTE

Zu Beginn des DMF lagen eine Reihe von publizierten epidemiologischen Studien vor, die sich mit den gesundheitlichen Langzeiteffekten von Mobilfunk beschäftigten. Dies betraf zum einen Studien zu umweltrelevanten Expositionen durch Sendeeinrichtungen, Studien an beruflich gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponierte Personen, und zur Nutzung von Mobiltelefonen. Eine gute Übersicht hierzu bietet die Publikation von Ahlbom *et al.* 2004.

## II.2.1 Studien zu Umweltexpositionen

Im Hauptfokus der öffentlichen Diskussion stehen immer wieder Berichte um ein möglicherweise erhöhtes Krebsrisiko im Nahbereich von Sendeeinrichtungen. Die Hauptquelle hochfrequenter elektromagnetischer Felder in der Umwelt stellen für die Bevölkerung dabei starke Radio- und Fernsehsender dar. Aus diesem Grunde wurden hierzu eine Reihe von Studien bei Erwachsenen und Kindern durchgeführt. So zum Beispiel in der Umgebung von Sendetürmen auf Hawai (Maskarinec *et al.* 1994), Australien (Hocking *et al.* 1996), Großbritannien (Dolk *et al.* 1997a) und Italien (Michelozzi *et al.* 2002). Zum Teil wurden signifikant erhöhte Risiken speziell für Kinderleukämien in der nahen Umgebung der Sender gefunden. Die Ergebnisse konnten aber in Nachfolgestudien mit anderen Herangehensweisen nicht reproduziert werden (Dolk *et al.* 1997b, McKenzie *et al.* 1998). Die insgesamt inkonsistenten Befunde sowie methodische Probleme ließen keine abschließende Risikobewertung zu den beobachteten auffälligen Kinderleukämieerkrankungen in der Umgebung von Sendern zu. Zu den methodischen Problemen zählten die meist kleinen Fallzahlen, der „ökologische“ Studienansatz mit entsprechend grober Expositionserfassung und die teilweise zweifelhafte Vollständigkeit der Registrierung der Krebserkrankungen.

Ziel des DMF Vorhabens „Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen“ war es deshalb zu prüfen, ob in Deutschland ein verbessertes Studiendesign zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Kinderleukämie und Fernsehsendern entwickelt werden kann. Nach Durchführung einer Pilotstudie wurde entschieden, eine Fall-Kontroll Studie zu Kinderleukämie ohne Befragung durchzuführen (Merzenich *et al.* 2007). In die Studie wurden 17 leistungsstarke Mittelwellensender (AM) und 8 UKW/TV-Sender in Westdeutschland aufgenommen. Zur Definition des Studiengebietes wurde unter Zugrundelegung betriebsspezifischer Expositionsdaten für jeden AM-Sender der 1 V/m (120 dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )) - Radius bestimmt bzw. der 90 dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )-Radius für UKW/TV-Sender. Alle Gemeinden, die sich innerhalb dieser Radien befanden, wurden in das Studiengebiet aufgenommen und so 25 Senderegionen definiert. Als Fälle wurden Kinder im Alter zwischen 0 bis 14 Jahren definiert, für die zwischen 1984 und 2003 eine Neuerkrankung an Kinderleukämie diagnostiziert wurde und die zum Diagnosezeitpunkt in der Studienregion lebten. Insgesamt wurden so 1.994 Fälle über das deutsche Kinderkrebsregister in Mainz ausgewählt. Drei Kontrollen pro Fall wurden individuell gematcht nach Alter bei Diagnose, Geschlecht, Senderregion und Meldezeitpunkt. Diese wurden bevölkerungsgewichtet zufällig aus den Gemeinden der Senderregionen gezogen (historische Kontrollen). Als Expositionszeitraum wurde 1982 bis 2003 definiert und eine zwei-jährige Latenzzeit unterstellt. Die Expositionsbestimmung verlief retrospektiv. Dazu wurden die Wohnadressen von Fällen und Kontrollen geokodiert. Dies erlaubte die Bestimmung der räumlichen Position zur Funksendeanlage. Mit Hilfe von aktuellen und historischen Betreiberdaten zu den ausgewählten Sendeanlagen wurde die mittlere Exposition im Jahr vor dem Diagnosezeitpunkt unter Berücksichtigung der tatsächlich abgestrahlten Sendeleistung über die Zeit, Tag- und Nacht-Unterschieden und der räumlichen Antennenausrichtung geschätzt. Neben den Hauptsendern wurden auch relevante Füllsender in der Expositionsabschätzung berücksichtigt. Es wurden umfangreiche Validierungsmessungen in ausgewählten Senderegionen durchgeführt.

Insgesamt zeigte die Validierungsstudie, dass die geschätzte Gesamtexposition die tatsächliche Exposition (Messung) deutlich besser schätzt als die alleinige Verwendung des Abstands. Zwar ist der Abstand für einzelne AM-Sender ein gutes Expositionsmaß, allerdings gilt dies nicht, wenn die Emissionen durch mehrere Sender verursacht werden, was in Deutschland der Regelfall ist. Für die Risikoanalysen wurde zum einen die Gesamtexposition aus AM und UKW/TV-Sender betrachtet, zum anderen getrennt nach Sendertyp bzw. zugrundeliegender Modulationsart (AM-Sender bzw. UKW/TV-Sender). Es wurde kein Zusammenhang zwischen geschätzter Feldstärke und Kinderleukämie gefunden. Dies gilt sowohl für die geschätzte Gesamtexposition als auch für die Exposition durch Mittelwellensender oder UKW/TV Sender und für alle Leukämieuntergruppen. Auch bei getrennter Betrachtung der Zeiträume vor 1992 und nach 1992 (Ausbau von Mobilfunk) wurde kein erhöhtes Kinderleukämierisiko beobachtet.

Ein ähnliches Studiendesign (Fall-Kontroll Studie und retrospektive Abschätzung der Feldstärke der Sender) wie in der deutschen Studie wurde in einer 2007 publizierten koreanischen Studie verwendet (Ha *et al.* 2007,2008; Schüz *et al.* 2008). Die Studie umfasste 1.928 Leukämie- und 956 Hirntumorfälle bei unter 15-jährigen Kindern sowie 3.082 nach Alter, Geschlecht und Jahr der Diagnose (1993-1999) gematchte Kontrollen mit Atemwegserkrankungen. Betrachtet wurden 31 Radiosender (AM) mit einer Sendeleistung von mehr als 20kW. Kinder im Umkreis von 2 km zum Sender wiesen ein 2,15fach statistisch signifikant höheres Leukämierisiko auf als Kinder im Umkreis von mehr als 20km. Es wurde jedoch kein statistisch signifikanter Anstieg im Risiko mit sinkendem Abstand zum Sender oder mit steigender geschätzter Feldstärke für Leukämie insgesamt, für lymphatische oder myeloische Leukämie oder Hirntumoren beobachtet. Auch in dieser Studie wurde eine Validierung der geschätzten Feldstärke vorgenommen. Limitierend hinsichtlich der Aussagekraft der Studie ist die Art der Kontrollen. Es wurde keine Zufallsstichprobe aus der Bevölkerung gezogen, sondern eine Krankenhauskontrolle verwendet.

Die neueren aussagekräftigeren Studien zum Kinderkrebsrisiko durch die Felder von Radio- und Fernsehsendern, die anstelle eines ökologischen Studienansatzes eine retrospektive individuelle Abschätzung der Exposition vorgenommen haben, schwächen deutlich die bisherigen inkonsistenten Einzelbefunde eines erhöhten Risikos

aus ökologischen Studien. Nach Gesamtschau aller Studien und dem Fehlen einer biologischen Erklärung ergibt sich nach Meinung des BfS wenig Evidenz für einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang.

## II.2.2 Berufliche Exposition

Studien zu beruflich hoch exponierten Personen sind von besonderem Interesse, da häufig die Exposition deutlich höher ist als in der Normalbevölkerung. Wenn Gesundheitseffekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder auftreten, dann müssten sie insbesondere bei hoch exponierten Personen zu beobachten sein. Bei bisher publizierten beruflichen Studien handelte es sich vorwiegend um Kohortenstudien (Groves *et al.* 2002, Milham *et al.* 1988, Morgan *et al.* 2000, Lagorio *et al.* 1997, Szmigielski *et al.* 1996, Tynes *et al.* 1996, Garland *et al.* 1990, Muhm *et al.* 1992) und einige wenige Fall-Kontroll Studien (Thomas *et al.* 1987, Armstrong *et al.* 1994, Grayson *et al.* 1996). Untersuchte Berufsgruppen waren Arbeiterinnen an dielektrischen Plastiksweißmaschinen, Funkamateure, Funkerinnen auf Handelsschiffen, Polizisten, Techniker bei der Marine, Militärangehörige, Beschäftigte der Elektroindustrie, etc. Untersucht wurde hauptsächlich das Risiko für bösartige Krebserkrankungen, vor allem Hirntumore und Leukämien sowie Brustkrebs, Hodentumore, Augenmelanom und Lungenkrebs, aber auch Risiken für reproduktive, teratogene und postnatale Schäden oder Katarakte. Vereinzelt wurden für bestimmte Erkrankungen erhöhte Risiken beobachtet, insgesamt war das Bild aber sehr inkonsistent. Die Aussagekraft vieler Studien war aufgrund methodischer Limitationen wie z. B. ungenaue retrospektive Abschätzung der Exposition, zu geringe Fallzahlen, Mischexpositionen etc., gering.

Die WHO-Research Agenda von 2003 (WHO 2003) empfahl die Machbarkeit von Studien an Populationen, die einer gut definierten hohen Exposition durch hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, vorzugsweise berufliche Kohorten, zu prüfen. Im DMF wurde deshalb eine Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie zu beruflich hoch exponierten Gruppen in Deutschland durchgeführt. Dazu wurden 30 Berufsgruppen aus den Berufsfeldern „Funk“, „Radar“ und „Industrielle Produktion“ identifiziert und auf festgelegte Kriterien zur Machbarkeit einer Kohortenstudie geprüft. Es verblieben drei potentielle Kohorten: Arbeiter an Hochfrequenz-Plastiksweißmaschinen, Ingenieure und Techniker von Mittel- und Kurzwellen-Sendeanlagen und Funkamateure. Für diese wurde ein mögliches Studiendesign erarbeitet und Vor- und Nachteile der Durchführung einer entsprechenden Kohortenstudie bewertet. Gesamtergebnis der Bewertung der drei Gruppen war, dass kein Studiendesign für eine Kohortenstudie festgelegt werden konnte, welches eine verzerrungsfreie Abschätzung des Erkrankungsrisikos durch hochfrequente elektromagnetische Felder erlaubt hätte. Gründe hierfür waren u. a. ein zu geringer Stichprobenumfang, nicht vergleichbare Kontrollgruppen, eine Vielzahl von nicht kontrollierbaren Störgrößen (Mischexpositionen, zusätzliche chemische Belastungen, etc.), Schwierigkeiten bei der retrospektiven Expositionsabschätzung und eine mangelnde Übertragbarkeit auf für den Mobilfunk typische Frequenzbereiche. Auf Basis der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie hat das BfS entschieden, keine Kohortenstudie an hoch gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponierten Personen durchzuführen und statt dessen zu prüfen, ob eine Beteiligung an einer internationalen Kohortenstudie zu Handynutzern machbar ist. Die Expositionen sind zwar niedriger, können aber direkt die Frage von Gesundheitsrisiken durch Mobilfunk beantworten.

## II.2.3 Studien zur Nutzung von Mobiltelefonen

Zu Beginn des DMF lagen mehrere publizierte epidemiologische Studien zur Nutzung von Mobiltelefonen vor (Ahlbom *et al.* 2004). Dabei handelte es sich sowohl um Fall-Kontroll Studien als auch einige Kohortenstudien (Hardell *et al.* 1999, 2002 Muscat *et al.* 2000, Inskip *et al.* 2001, Muscat *et al.* 2002, Auvinen *et al.* 2002, Stang *et al.* 2001, Johansen *et al.* 2001, 2002, Dreyer *et al.* 1999). Diese konzentrierten sich hauptsächlich auf die Untersuchung eines Risikos für Gliome und Meningiome, Akustikusneurinome, Speicheldrüsenkrebs und Uvealmelanom in Abhängigkeit von der Nutzung von analogen (450 oder 900 MHz) und digitalen Mobiltelefonen (1900 MHz). Insgesamt ergab sich kein konsistentes Bild für ein erhöhtes Krebsrisiko. Vereinzelt wurden signifikante Zusammenhänge zwischen Nutzung von analogen Mobiltelefonen und einigen Hirntumorsubtypen beobachtet. Problematisch an den ersten Studien waren eine sehr kurze Latenzzeit zwischen dem Beginn einer Handynutzung und der Tumordiagnose, da Mobiltelefone erst in den 90-iger Jahren oder später eingeführt wurden, Unsicherheiten in der retrospektiven Expositionsabschätzung, Recall Bias in Fall-Kontroll Studien bei der Nennung der Kopfseite der Nutzung des Telefons oder Dauer der Nutzung und zu geringe Fallzahlen. Zudem bezogen sich die Studien vor allem auf die ältere, analoge Technik.

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2000 von der WHO eine internationale Fall-Kontroll Studie, die sog. INTERPHONE-Studie initiiert, die klären sollte, ob (i) die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern aus verschiedensten Quellen das Risiko erhöht, an einem Hirntumor zu erkranken, und ob (ii) die Nutzung eines Handys das Risiko erhöht, an einem der erfassten Tumorformen (Gliome, Meningeome und Akustikusneurinome) zu erkranken. Im Rahmen des DMF wurde eine Zusatzfinanzierung zum deutschen Teil der INTERPHONE-Studie (sog. „Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)“) und eine Zusatzfinanzierung zur Verfeinerung der Expositionsabschätzung der internationalen Studie (sog. „Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie“) gewährt. Des Weiteren wurde über das DMF eine Zusatzfinanzierung

einer Fall-Kontroll Studie zum Uvealmelanom („Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)“) gewährt. Anlass hierfür war eine 2001 publizierte Vorstudie von Stang *et al.* (2001), die für Handynutzer und Nutzer von Funkgeräten ein dreifach erhöhtes Risiko für eine Uvealmelanomerkrankung zeigte. Die Studie war aufgrund methodischer Probleme in ihrer Aussagekraft eingeschränkt und sollte deshalb mit einem verbesserten Studiendesign wiederholt werden. Da Fall-Kontroll Studien nur die Untersuchung von einer Erkrankung zulassen, anfällig für bestimmte Verzerrungsmechanismen sind und retrospektiv durchgeführt werden, wurde im Jahr 2003 von der WHO dringend empfohlen eine internationale prospektive Kohortenstudie zur Handynutzung zu etablieren, die es erlaubt eine Vielzahl von Erkrankungen zu untersuchen. Im Rahmen des DMF wurde deshalb die Machbarkeit einer deutschen Beteiligung an einer solchen Kohortenstudie geprüft („Machbarkeitsstudie für eine prospektive Kohortenstudie unter Handynutzern“). Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Studien vorgestellt und diskutiert.

Die Fall-Kontroll Studie zum Uvealmelanom umfasste 455 inzidente Augenmelanompatienten des Universitätsklinikums Essens im Alter von 20 bis 74. Der Erhebungszeitraum war von Februar 2002 bis März 2005. Die Studie wurde als Fall-Kontroll Studie mit drei verschiedenen Kontrollgruppen konzipiert: 180 Augenarztkontrollen gematcht nach Alter und Geschlecht und Praxis, 187 Geschwisterkontrollen gematcht nach Alter und soweit möglich nach Geschlecht und 827 Bevölkerungskontrollen gematcht nach Alter, Geschlecht und Region. Als Erhebungsinstrument wurde ein Fragebogen zum Selbstauffüllen postalisch verschickt. Dieser umfasste die Berufsbiographie, Haar- und Augenfarbe, Anzahl der Muttermale und Sommersprossen an Unterarmen und Fußrücken, Angaben zur Nutzung von Schweißgeräten und sowie Handy-, Funkgerät- und schnurlose Telefonnutzung. Zusätzlich wurde ein computerunterstütztes Telefoninterview durchgeführt. Dies umfasste Ethnizität, phänotypische Merkmale, Screeningfragen zu interessierenden Berufen und Branchen, Gebrauch von Handy, schnurlosen Telefonen, Funkgeräten, Mikrowelle und Radar, medizinische Vorgeschichte, Familienanamnese und UV-Exposition. Des Weiteren wurde ein Non-Responder-Fragebogen eingesetzt (Grund der Nichtteilnahme, Beruf, Augenfarbe, regelmäßige Handy- und Funkgerätenutzung, Raucherstatus, Schulbildung). Die Erfassung des Gebrauchs von Handys und schnurlosen Telefonen erfolgte über den IARC-Fragebogen, der auch in der INTERPHONE-Studie eingesetzt wurde.

Die Studie stellte bis dahin die weltgrößte Studie zum Augenmelanom dar. Die Teilnahmebereitschaft bei den erkrankten Augenmelanompatienten lag mit 95 % sehr hoch. Bei den drei Kontrollgruppen war sie vergleichsweise geringer (57 % bei Bevölkerungs- und Geschwisterkontrollen und 52% Hausaugenarztkontrollen). Ungefähr 43 % der Probanden, die ein Interview ablehnten, füllten einen Kurzfragebogen aus. Ein Vergleich der altersstandardisierten Prävalenzen zwischen teilnehmenden Bevölkerungskontrollen und nicht teilnehmenden Bevölkerungskontrollen, die einen Non-Responder Fragebogen ausgefüllt haben, zeigte eine leicht höhere Prävalenz von Handynutzern unter den Teilnehmern (36 %) als unter den Nicht-Teilnehmern (27 %) und eine deutlich höhere Schulbildung der Teilnehmer. Risikoanalysen wurden durchgeführt in Bezug auf regelmäßigen Gebrauch des Handys, die kumulative Dauer des Gebrauchs in Jahren, den regelmäßige Gebrauch seit mindestens 5 Jahren (ja/nein) oder seit 10 Jahren (ja/nein), die kumulative Anzahl der Gespräche und die kumulative Nutzungsdauer in Stunden. Erste vorläufige Ergebnisse zeigten übereinstimmend kein erhöhtes Risiko für ein Uvealmelanom in Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen. Eine endgültige Interpretation ist aber erst möglich, sobald mögliche systematische Fehler (Selektion und Expositionsfehler) näher untersucht sind und weitere Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden. Dies ging über den zeitlichen Rahmen des DMF hinaus und wird in einem Supplement zu diesem Bericht erörtert werden.

Bei der INTERPHONE-Studie, die von der International Agency for Research on Cancer (IARC) in Lyon koordiniert wurde, handelt es sich um eine multi-nationale Fall-Kontroll Studie zu Kopf- und Nackentumoren, die nach einheitlichem Studienprotokoll durchgeführt wurde (Cardis *et al.* 2007). Insgesamt partizipierten 13 Länder (Australien, Kanada, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Israel, Italien, Japan, Neuseeland, Norwegen, Schweden, Großbritannien). Primäres Ziel war zu untersuchen, ob die Nutzung von Mobiltelefonen zu einem erhöhten Risiko für Tumoren des Kopf- und Nackenbereichs führt. In die Studie gingen inzidente Fälle mit gesicherter Primärdiagnose Meningiom, Gliom und Akustikusneurinom (in einigen wenigen Ländern auch Speicheldrüsenkrebs) im Alter von 30 bis 59 Jahren ein. Kontrollen wurden zufällig aus der Bevölkerung gezogen und nach Alter, Geschlecht und Studienregion gematcht. Die gepoolte Studie umfasst 2.765 Gliompatienten, 2.425 Meningiompatienten, 1.121 Akustikusneurinompatienten und 7.658 Kontrollen.

Soweit möglich wurden persönliche computergestützte Interviews mit einem standardisierten Fragebogen bei Fällen und Kontrollen durchgeführt. Der Fragebogen umfasste Angaben zur Demographie, zum Mobiltelefongebrauch, Gebrauch von anderen drahtlosen Kommunikationsmitteln wie zum Beispiel schnurlosen Telefonen, berufliche Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und anderen potentiellen Störgrößen (ionisierende Strahlung, Rauchen, etc.). Regelmäßige Nutzer von Mobiltelefonen, definiert als im Durchschnitt mindestens ein Gespräch pro Woche über einen Zeitraum von 6 Monaten und mehr, wurden im Detail zum Telefentyp, Netzbetreiber, zur durchschnittlichen Dauer und Anzahl der Gespräche, Nutzung von Freisprechanlagen, Kopfseite der Nutzung des Mobiltelefons etc. befragt. In elf Ländern wurden hierzu umfangreiche Validierungsstudien durchgeführt (Vrijheid *et al.* 2006). So erhielten beispielsweise in der SMP („software-modified phone“-) Studie freiwillige Probanden für einen Monat lang ein Handy, das die Sendeleistung während der Gespräche aufzeichnete. Die SMP-Daten erlaubten eine Abschätzung, inwieweit

Nutzungsgewohnheiten eine tatsächliche Exposition widerspiegeln und welche Faktoren wie z. B. Frequenz, Handy-Modell, Telefonieren in städtischen oder ländlichen Gebieten, die Sendeleistung beeinflussen.

Ziel des Projekts „Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie“ war die Entwicklung eines Expositionsgradienten, um die tatsächliche Exposition der einzelnen Probanden nachträglich möglichst genau abschätzen zu können. Da bei Handynutzung die HF-Absorption der verschiedenen Kopfreionen von vielen Faktoren abhängt, wurden im ersten Schritt die Informationen zusammengetragen, die zur tatsächlichen kumulativen Gesamtexposition beigetragen haben. Hierzu zählen vor allem (i) die genutzten Handymodelle, (ii) die genutzten Netzwerke (Frequenz und Signalcharakteristik), (iii) die Häufigkeit und Dauer der Handynutzung und (iv) die Nutzungsgewohnheiten (Kopfseite, Headset, stationär oder unterwegs,...). Im nächsten Schritt wurden alle vorhandenen dosimetrischen Daten zur 3-dimensionalen SAR-Verteilung einzelner Handymodelle aufgearbeitet um eine Klassifizierung der Mobiltelefone aufzustellen. Hierzu wurden SAR-Verteilungen von 129 Handymodellen erhoben und einer Clusteranalyse unterzogen. Um einen Zusammenhang von HF-Absorption und Tumorklassifizierung feststellen zu können, wurden die Daten zur Tumorausbreitung in den einzelnen Kopfreionen auf einem 3dimensionalen Gitternetz abgebildet um dann letztendlich mit der generischen SAR-Verteilung der genutzten Handymodelle korreliert zu werden.

Die Ergebnisse der internationalen gepoolten INTERPHONE-Studie lagen zum Zeitpunkt des DMF Abschlussworkshops noch nicht vor. Es wurden jedoch schon Einzelergebnisse der nationalen Studien oder zum Teil gepoolt über einige Länder zu den einzelnen Tumorklassifizierungen publiziert (Christensen *et al.* 2004, 2005; Lönn *et al.* 2005, 2006; Schoemaker *et al.* 2005, Hepworth *et al.* 2006, Lakhola *et al.* 2007; Schüz *et al.* 2006 a,c.; Berg *et al.* 2006; Schlehofer *et al.* 2007, Takebayashi *et al.* 2006, 2008; Klabe *et al.* 2007; Hours *et al.* 2007; Sadetzki *et al.* 2007, Blettner *et al.* 2007).

Die deutsche INTERPHONE-Studie wurde in Kooperation mit den neurologischen Kliniken in und um Bielefeld, Heidelberg, Mainz und Mannheim durchgeführt. Studienzeitraum war zwischen 15.10.2000 und 31.10.2003. Alle in diesem Zeitraum diagnostizierten inzidenten Fälle mit gesicherter Primärdiagnose Gliom, Meningiom oder Akustikusneurinom im Alter von 30 bis 59 Jahren (bzw. 69 Jahren), die mehr als 6 Monate in der Studienregion lebten wurden als potentielle Fälle in die Studie aufgenommen. Kontrollen wurden zufällig über Einwohnermeldeämter gezogen und nach Alter, Geschlecht und Studienregion gematcht. Die Teilnehmerquote bei Gliom und Meningiomfällen betrug 80 % und mehr als 60 % bei Kontrollen. Die Studie umfasste 366 Gliomfälle, 381 Meningiomfälle, 1,494 Hirntumorkontrollen, 97 Akustikusneurinomfälle, und 194 Akustikusneurinomkontrollen. Als statistische Methode wurde eine bedingte logistische Regression stratifiziert nach Alter, Geschlecht und Studienregion durchgeführt und das sog. Odds Ratio und zugehörige 95 % Konfidenzintervall berechnet. Ein Odds Ratio (OR) gibt dabei den Faktor an, um den sich die Wahrscheinlichkeit zu Erkranken für einen Exponierten im Vergleich zu einem nicht oder weniger Exponierten erhöht bzw. erniedrigt. Alle Risikoschätzer wurden für Sozialstatus, Rauchen, Stadt/Land und Alter bei Diagnose adjustiert. Bisher publiziert wurden die Ergebnisse zum Meningiom- und Gliomrisiko (Schüz *et al.* 2006a,c) bzw. Risiko für Akustikusneurinome durch Nutzung von Mobiltelefonen (Schlehofer *et al.* 2007), zur beruflichen Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Berg *et al.* 2006), zur medizinischen und beruflichen Strahlenexposition (Blettner *et al.* 2007) und zur deutschen Validierungsstudie (Berg *et al.* 2005).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der deutschen Studie kein erhöhtes Risiko für Gliome, Meningiome oder Akustikusneurinome bei einer Nutzung eines Mobiltelefons von weniger als zehn Jahren. Bei regelmäßiger Nutzung eines Handys lagen die Odds Ratios für Gliome bei 0,98 (95 % KI: 0,74-1,29), für Meningiome bei 0,84 (95 % KI: 0,62-1,13) und für Akustikusneurinome bei 0,67 (95 % KI: 0,38-1,19). Für Langzeitnutzer von zehn Jahren und mehr bietet die deutsche Studie nur sehr kleine Fallzahlen: hier wird kein erhöhtes Risiko für Meningiome oder Akustikusneurinome beobachtet und ein nicht signifikant erhöhtes Risiko für Gliome (OR=2,20, 95 % KI: 0,95 - 5,11). Weder die Nutzung von schnurlosen Telefonen noch das Vorhandensein einer DECT-Basisstation nahe am Bett zeigt ein erhöhtes Risiko für einen der betrachteten drei Tumoren. Hohe berufliche Exposition gegenüber Radiofrequenzfeldern, vorwiegend durch die Nutzung von drahtlosen Kommunikationsmitteln, zeigen ein nicht statistisch signifikant erhöhtes Odds Ratio von 1,22 (95 % KI: 0,69-2,15) für Gliome, 1,34 (95 % KI: 0,61-2,96) für Meningiome und 1,45 (95 % KI: 0,51-4,19) für Akustikusneurinome.

Die deutsche Studie zeigt kein erhöhtes Risiko bei einer Nutzung des Mobiltelefons über einen Zeitraum von weniger als 10 Jahren. Diese Ergebnisse stimmen mit den bisher publizierten nationalen Ergebnissen der INTERPHONE-Studien (Christensen *et al.* 2004, 2005; Lönn *et al.* 2005, 2006; Schoemaker *et al.* 2005, Hepworth *et al.* 2006, Lakhola *et al.* 2007; Takebayashi *et al.* 2006, 2008; Klabe *et al.* 2007; Hours *et al.* 2007; Sadetzki *et al.* 2007) und den Ergebnissen anderer epidemiologischer Studien (Auvinen *et al.* 2002, Inskip *et al.* 2001, Muscat *et al.* 2002, Schüz *et al.* 2006b) überein und stützen damit nicht die früheren Befunde erhöhter Risiken einer schwedischen Gruppe (Hardell *et al.* 1999, 2002, 2003, 2006a,b). Die Aussagekraft der bisherigen Studien ist allerdings noch nicht ausreichend, um das Risiko bei Langzeitanwendern (> 10 Jahre) mit sehr häufigem Mobiltelefon-Gebrauch und potenziell langen Latenzzeiten zwischen Exposition und Erkrankung abschließend beurteilen zu können.

Die INTERPHONE-Studie stellt derzeit die größte Fall-Kontroll Studie zu Gliomen, Meningiomen und Akustikusneurinomen dar und liefert von daher wichtige Aussagen zum Krebsrisiko durch die Nutzung von Mobiltelefonen. Fall-Kontroll Studien sind aber anfällig für mögliche Fehlerquellen. Dazu gehört eine mögliche verzerrte Risikoschätzung durch Nichtteilnahme von Fällen und Kontrollen, durch für Fälle und Kontrollen unterschiedliches Erinnern des Gebrauchs von Mobiltelefonen, Unterschiede im Zeitpunkt des Interviews in einer Zeit mit dramatischem Anstieg in der Mobiltelefonnutzung und Confounding durch Störgrößen. Auch aus diesem Grund wurde parallel von der WHO die Initiierung einer internationalen prospektiven Kohortenstudie, der sog. COSMOS-Studie (COHORT STUDY ON MOBILE PHONE USE AND HEALTH) angeregt.

Ziel der COSMOS-Studie ist die Untersuchung der Frage, ob intensive Handynutzung zu einem Anstieg des Inzidenz- bzw. Mortalitätsrisikos für verschiedene Erkrankungen führt. Als Studienumfang waren mindestens 250.000 Handynutzer geplant. Fünf Länder standen in der Diskussion, sich an der Studie zu beteiligen: England, Schweden, Dänemark, Finnland und Deutschland. Als Endpunkte sollten untersucht werden: die Gesamtmortalität, Krebsinzidenz, ausgewählte Tumorlokalisationen (Hirntumore, Augentumore, Speicheldrüsenkrebs, Leukämien, etc.), neurodegenerative Erkrankungen, Herzkreislauferkrankungen, Akustikusneurinome und Befindlichkeitsstörungen. Im Gegensatz zu den Fall-Kontroll Studien war erstmals eine „objektive“ Expositionsermittlung vorgesehen, indem die relevanten Daten der ein- und ausgehenden Gespräche direkt von den Rechnungslisten der Netzbetreiber über einen Zeitraum von 3 Monaten jährlich ausgelesen und die Probanden zusätzlich befragt (Hauptnutzer, Lateralität, Freisprechanlagen) werden sollten. Eine wichtige Voraussetzung für alle beteiligten Länder war die Prüfung der technischen Durchführbarkeit der Studie und die Abschätzung des Aufwands im Rahmen einer vorgeschalteten Machbarkeitsstudie.

Für Deutschland wurde die grundsätzliche Machbarkeit der Studie erfolgreich gezeigt. Dies betraf den Aufbau der Kohorte über Netzbetreiber-Rechnungslisten oder über Einwohnermeldeämter, die Extraktion der notwendigen Expositionsdaten über die Netzbetreiber und die Klärung aller Datenschutzauflagen. Besonders positiv hervorzuheben war die hohe Kooperationsbereitschaft der vier Netzbetreiber (E-Plus, Vodafone, T-Mobile und O<sub>2</sub>). Problematisch war allerdings die Durchführung eines Follow-Up, da in Deutschland keine bevölkerungsbezogenen Register für alle geforderten Endpunkte existieren. Als besonders stark limitierender Faktor erwies sich jedoch die extrem geringe Teilnahmebereitschaft der angeschriebenen Probanden. So wurden 4.000 Probanden über die Netzbetreiberlisten zufällig ausgewählt und kontaktiert. Die Teilnehmerquote lag bei 5%. Weitere 1.000 Probanden wurden über Einwohnermeldeämter zufällig ausgewählt und kontaktiert. Hier lag die Teilnehmerquote bei 12%. Allerdings erfüllte ein Großteil davon nicht die Einschlusskriterien (Handynutzer, keine Prepaid-Verträge). Bei einer Teilnehmerquote von 5% müssten zum Aufbau einer Kohorte mit 50.000 Handynutzern in Deutschland allein 1 Million Personen kontaktiert werden. Dies war im Rahmen des DMF nicht zu finanzieren. Aus diesem Grunde ließ sich die Teilnahme an der Studie COSMOS, die in anderen europäischen Ländern durchgeführt wird, in Deutschland im Rahmen des DMF nicht realisieren.

### **II.3 FAZIT**

Die epidemiologischen Studien zeigen keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Befindlichkeitsstörungen (Schlaf, Kopfschmerzen, gesundheitlichen Beschwerden allgemein, etc.) und den Feldern von Mobilfunkbasisstationen. Diese Befunde stimmen mit den Ergebnissen der experimentellen Probandenstudien zu Schlafstörungen überein. Es wurde kein Zusammenhang zwischen Kinderleukämie und den Feldern von starken Radio- und Fernsehsendern gefunden. Studien zur Nutzung von Mobiltelefonen zeigen derzeit keinen Hinweis auf ein erhöhtes Risiko für Gehirntumore, Akustikusneurinome und Augenmelanome und lassen selbst auf Basis der wenigen Langzeitanwender vermuten, dass zumindest eine deutliche Risikoerhöhung nicht zu erwarten ist. Eine abschließende Bewertung zum Risiko für Langzeitanwender kann erst nach Abschluss der INTERPHONE-Studie gegeben werden. Es werden aber Fragen offen bleiben, insbesondere auch im Hinblick auf andere chronische Erkrankungen mit langen Latenzzeiten.

## **III BEWERTUNG DER STUDIEN AUS DEM BEREICH DOSIMETRIE**

Die Studien im Bereich Dosimetrie befassten sich vornehmlich mit der Entwicklung bzw. Definition sowie mit der Anwendung von Verfahren zur Erfassung von Expositionen durch elektromagnetische Felder, denen die allgemeine Bevölkerung insbesondere im Alltag ausgesetzt ist. Die durchgeführten Projekte konnten erheblich zur Aufklärung und zum Verständnis tatsächlicher und unter ungünstigen Bedingungen maximal möglicher Expositionen in umweltrelevanten Situationen beitragen. Hinweise zur fachgerechten Anwendung von Messmitteln und Vorschläge für Mess- und Berechnungsverfahren unter Strahlenschutz Gesichtspunkten wurden für unterschiedliche Anwendungen elektromagnetischer Felder erarbeitet und können in Zukunft für qualitativ hochwertige und untereinander vergleichbare Expositionsbestimmungen angewendet werden. Neben den beiden Mobilfunkstandards GSM und UMTS wurden auch Expositionen durch neue Technologien wie z. B. DVB-T, WLAN, Bluetooth, DECT oder UWB untersucht und somit ein weites Spektrum an drahtlosen informationstechnischen Anwendungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder abgedeckt, die heutzutage das tägliche Leben bestimmen. Zudem wurden Verfahren für eine definierte Exposition in biologischen

Laborversuchen und zur Klassifizierung der Exposition verschiedener Bevölkerungsgruppen in epidemiologischen Studien entwickelt.

### **III.1 EXPOSITIONEN IM ALLTAG**

Die Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Felder in Umwelt relevanten Situation ist eine komplexe Aufgabe, bei der eine Vielzahl von Aspekten zu berücksichtigen ist. Falls keine standardisierten Messverfahren vorliegen, kommt der Dokumentation der verwendeten Messmethode besondere Bedeutung zu, damit die Vorgehensweise nachvollziehbar und die Ergebnisse bewertbar und mit denen anderer Untersuchungen vergleichbar sind. Derartige Messverfahren wurden für unterschiedliche Funkssysteme im Rahmen des DMF erarbeitet und können in Zukunft berücksichtigt und angewendet werden.

#### **III.1.1 Expositionen durch ortsfeste Sendeanlagen**

Die tatsächlich durch ortsfeste Sendeanlagen hervorgerufene oder zu erwartende Exposition der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland war in vielen Fällen vor dem Start des DMF nicht bekannt. Nicht zuletzt bedingt durch den flächendeckenden Aus- und Aufbau der GSM- und UMTS-Mobilfunknetze und durch den damit verbundenen Bedarf an etwa 40.000 neuen Sendeanlagen und 15.000 neuen Standorten standen vor allem die von den Sendeanlagen der Mobilfunk-Basisstationen zu erwartenden Expositionen im Zentrum des öffentlichen Interesses. Die im Rahmen von immissionsschutzrechtlichen Prüfungen erteilten Standortbescheinigungen, die für ortsfeste Sendeanlagen mit mehr als 10 W äquivalenter isotroper Strahlungsleistung (EIRP) und somit auch für Mobilfunk-Basisstationen ausgestellt werden, geben über tatsächliche Expositionen keine Auskunft sondern bestätigen mittels einer konservativen Abschätzung lediglich die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte. Zudem wird für diese Bescheinigung oftmals der maximal mögliche Ausbauzustand der Basisstation zugrunde gelegt, der nicht immer dem tatsächlichen Betrieb entspricht. WLAN Hot-Spots, an denen in öffentlichen Räumen und innerstädtischen Gebieten Nutzern mit entsprechenden Endgeräten ein drahtloser Zugang zum Internet ermöglicht wird, unterliegen aufgrund der geringeren maximalen Strahlungsleistung nicht dem Standortbescheinigungsverfahren. Zu Beginn des DMF befanden sich zahlreiche derartiger Hot-Spots und so genannter "City-LANs" im Aufbau, so dass insgesamt von einer zunehmenden Exposition der Bevölkerung auszugehen war. Verlässliche Untersuchungen über die tatsächliche Höhe der auftretenden Expositionen lagen nicht vor. Schließlich stand mit der Ablösung des analogen Fernsehfunks durch den digitalen terrestrischen Fernsehstandard DVB-T eine weitere Änderung der Expositionssituation im mobilfunkrelevanten Frequenzbereich bevor. Vergleichbar mit den Mobilfunk-Basisstationen unterliegen die Sendeanlagen des analogen und digitalen Rundfunks zwar dem Standortbescheinigungsverfahren, über tatsächliche Expositionen und ihre Verteilung in der Umgebung der Sendeanlagen lagen jedoch insbesondere im Zusammenhang mit dem neuen digitalen Standard keine belastbaren Informationen vor.

Ausgehend von der beschriebenen Situation, sollten in den Projekten des DMF daher Mess- und Berechnungsverfahren vorgeschlagen und angewendet werden, die geeignet sind, die Exposition von Personen im Umfeld von ortsfesten Funksendeanlagen zu ermitteln. Auch sollten Verfahren entwickelt werden, die geeignet sind, die Einhaltung von Grenzwerten zu überprüfen. In begleitenden Analysen wurden hinsichtlich anlagenbezogener und immissionsortbezogener Randbedingungen unter systematischen Gesichtspunkten möglichst unterschiedliche Szenarien ausgewählt und untersucht, um auf diese Weise Kenntnis über maximale und tatsächliche Expositionen sowie deren Variabilität zu erlangen. Auf diese Weise konnten u. a. Informationen zum Auffinden des Ortes mit der höchsten Immission gefunden werden. Eine Erhebung, in der an statistisch über einem Gebiet verteilten Messorten Immissionen bestimmt werden, wurde parallel zu systematischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Einführung von DVB-T durchgeführt. Bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse sind die teilweise unterschiedlichen Ansätze für die Auswahl der Messorte zu berücksichtigen. Zwei Studien wurden durchgeführt, die sich mit der systematischen Erfassung von Immissionen und den damit verbundenen möglichen Expositionen durch elektromagnetische Felder im Umfeld von Basisstationen der Mobilfunk-Standards GSM und UMTS befassten („Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen“, „Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen“). Dabei lag der Schwerpunkt auf der möglichst genauen Erfassung der maximal möglichen Expositionen. In einer Studie wurden die Möglichkeiten zur Expositionsabschätzung für epidemiologische Studien um Mobilfunk-Basisstationen geprüft („Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden“). Hierbei standen weniger maximal mögliche sondern vielmehr tatsächlich auftretende Expositionen insbesondere in Wohnräumen im Vordergrund. Zudem wurde eine Studie um WLAN Hot-Spots durchgeführt („Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN - Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten“).

Kennzeichnend für die unter systematischen Aspekten erhobenen Immissionen im Umfeld von ortsfesten Sendeanlagen war durchweg, dass diese erheblichen örtlichen sowie zeitlichen Schwankungen unterliegen können. Die zuverlässige Bestimmung eines repräsentativen örtlichen Messwertes stellt deshalb besondere

Anforderungen an das Messverfahren und an die Messdurchführung. Besonders in Innenräumen konnten auf Reflexionen und Mehrwegeausbreitung zurückzuführende kleinräumige Schwankungen der Immissionen (fast fading) bis zu 20 dB (Faktor 100) in Abständen weniger Zentimeter beobachtet werden.

## Überprüfung von Grenzwerten

Zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten müssen Messungen am Ort der insgesamt höchsten Exposition durchgeführt und die Ergebnisse auf maximale Anlagenlast extrapoliert werden (worst case). Hinweise zum Auffinden des Orts mit der insgesamt höchsten Exposition wurden für Mobilfunk-Basisstationen erarbeitet („Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen“, „Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen“). Dabei wurde festgestellt, dass die höchsten relevanten Expositionswerte mit hoher Wahrscheinlichkeit an allgemein zugänglichen Orten, die sich höhenmäßig sowie auch horizontal in Hauptstrahlrichtung der Sendeantennen befinden sowie einen geringen lateralen Abstand und direkte Sicht zur Anlage haben, zu finden sind. Sofern es sich bei den so bestimmten Orten um einen Innenraum handelt, sind die nachfolgenden Messungen bei geöffneten Fenstern durchzuführen. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wird an diesem Ort die örtlich höchste Leistungsflussdichte bestimmt (Feinmessung). Auf diese Weise werden die Einflüsse des fast fading eliminiert. Um auch zu prüfen, ob Grenzwerte bei maximaler Anlagenauslastung unterschritten werden, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, nur die Immissionen der mit konstanter Leistung abgestrahlten Organisationskanäle der Anlagen zu messen und aus diesen Ergebnissen hoch zu rechnen. Dabei werden zeitliche Immissionsschwankungen zunächst ignoriert. Für GSM sind hierfür frequenzselektive Messgeräte, für UMTS codeselektive Verfahren erforderlich. Im Fall von GSM erfolgt die Extrapolation auf maximale Anlagenauslastung durch Multiplikation der gemessenen Leistungsflussdichten der Organisationskanäle mit der jeweiligen Gesamtzahl der Sendekanäle. Die so erhaltenen Ergebnisse für die einzelnen Funksysteme an einem Standort werden anschließend summiert. Die genaue Anzahl der verwendeten Frequenzkanäle muss bei den Betreibern angefragt werden, da nicht alle Kanäle während der Messung aktiv sein müssen und einzelne Kanäle somit übersehen werden könnten. Erfragt werden muss zudem, ob die Betreiber an den einzelnen Stationen ein Frequenzsprungverfahren (Frequency Hopping) einsetzen und wie viele Frequenzkanäle dafür genutzt werden, da in diesem Fall eine Feinmessung, die den Maximalwert festhält (MaxHold) aus technischen Gründen mehr Kanäle anzeigt, als gleichzeitig aktiv sind. Ohne Korrektur würde die maximal mögliche Exposition dann systematisch überschätzt. Sofern Anlagen mit einer geringeren Sendeleistung als bei der Bundesnetzagentur beantragt betrieben werden, ist der Messwert entsprechend zu korrigieren. In den seltenen Fällen, in denen ein leistungsgeregelter Verkehrskanal eine höhere Immission als der zugehörige Organisationskanal verursacht, sollte der Messwert für den Verkehrskanal als Grundlage herangezogen werden. Bei UMTS erfolgt die Extrapolation auf maximale Anlagenauslastung, in dem der Messwert für den Organisationskanal entsprechend seines Anteils an der gesamten Sendeleistung multipliziert wird. Auch dieser Wert muss bei den Betreibern erfragt werden. Einer zusätzlichen Korrektur bedürfen Beiträge von Anlagen an denen mehrere Sektoren über eine Basisstation versorgt werden. Anschließend sind alle Beiträge zu summieren und mit dem Grenzwert zu vergleichen.

## Messverfahren

Für eine möglichst exakte Bestimmung der Expositionen haben sich bei den einzusetzenden Messmitteln frequenzselektive Geräte als geeigneter im Vergleich zu Breitbandsonden herausgestellt. Für UMTS liefern codeselektive Verfahren die genauesten Ergebnisse. Auf die richtige Einstellung von Messparametern (Auflösungsbreiten, Detektoren, etc.) ist zu achten, da ansonsten erhebliche Fehlbewertungen der Immissionen erfolgen können. In einigen Fällen haben sich auch einfachere Kanalleistungsmessungen als geeignet erwiesen. Für die verschiedenen untersuchten Funkdienste wurden in den einzelnen Projekten entsprechende Vorgaben erarbeitet.

Hinsichtlich der Messdurchführung wurden für die Ermittlung des örtlichen Maximalwertes die Schwenkmethode, die Drehmethode und die Punktrastermethode untersucht. Alle drei Verfahren lieferten unter sonst gleichen Randbedingungen bei sorgfältiger Durchführung die gleichen Ergebnisse und waren grundsätzlich in der Lage das Maximum der Exposition zu finden. Die Schwenkmethode, bei der eine Messantenne langsam durch den Raum bewegt wird, wurde für diese Aufgabe insgesamt als bester Kompromiss zwischen Genauigkeit und Aufwand identifiziert. Als Messwertaufnehmer sind grundsätzlich isotrope (richtungsunabhängige) Antennen zu empfehlen, um von allen Seiten einfallende Wellen gleichzeitig zu erfassen. Für die Schwenkmethode haben sich allerdings, richtungsabhängige, logarithmisch-periodische Antennen als überlegen erwiesen, da deren Beeinflussung durch eine Verkopplung mit dem Körper des Anwenders geringer ist. Die Schwenkmethode erfordert eine besonders sorgfältige Durchführung des Messvorgangs, damit alle Polarisationen und Einfallrichtungen durch die Messung erfasst werden. Die Bewegung der Antenne muss bezogen z. B. auf die Messdauer (Sweep Time) des Spektrumanalysators langsam erfolgen und für UMTS an die Dekodierate des Messmittels angepasst sein. Die aktuelle Richtlinie der ICNIRP (ICNIRP 1998) definiert die abgeleiteten Referenzwerte als räumlich über den gesamten Körper der exponierten Person gemittelte Werte. Mit der Schwenkmethode lässt sich grundsätzlich diese Mittelung nicht erreichen. Stattdessen wird im Sinne eines konservativen Ansatzes, die lokal maximale Immission in dem Volumen bestimmt. Eine Mittelung ist z. B. mit Hilfe der Punktrastermethode möglich. Diese ist aber äußerst zeitaufwändig. Für eine Messung können Messzeiten im Stundenbereich auftreten. Zudem wurde

festgestellt, dass in Abhängigkeit vom jeweiligen Expositionsszenario die Wahl der Mittelungsgeometrie einen starken Einfluss auf das Messergebnis ausüben kann. Eine für alle möglichen Szenarien gleichermaßen geeignete Geometrie konnte bislang noch nicht angegeben werden. Diesbezüglich bestehen internationale Forschungsaktivitäten, z. B. auf europäischer Ebene (z. B. Projekt BASEXPO, <http://www.basexpo.org>).

## **Berechnungsverfahren**

Für die Berechnung von Feldverteilungen im Umfeld von ortsfesten Sendeanlagen wurden unterschiedliche Verfahren in den Projekten untersucht, eingesetzt und mit messtechnischen Ergebnissen verglichen. Darunter befanden sich auf optischen Ausbreitungsmodellen aufbauende Verfahren wie Ray Launching und Ray Tracing, das FDTD-Verfahren (Finite Difference Time Domain), empirische Ausbreitungsmodelle und darauf basierende selbst entwickelte Verfahren.

Die rechentechnischen Prognosen zeigten in vielen Fällen gute Übereinstimmung mit Messungen. Ihr großer Vorteil liegt darin, dass sie eine großflächige Erfassung von Immissionen liefern bzw. Immissionsprognose für ein großes Gebiet ermöglichen. Zur Erreichung dieser Genauigkeit ist aber in der Regel ein hoher Aufwand bei der Modellierung von Sender und Umgebung erforderlich, der vielfach nicht geleistet werden kann. Teilweise sind auch wichtige Informationen wie z. B. Gebäudehöhen in der Umgebung von Sendeanlagen oder Materialparameter von Objekten im Ausbreitungsweg nicht verfügbar. Die Frage der Zweckmäßigkeit des Einsatzes von Berechnungsverfahren konnte daher nicht pauschal beantwortet werden, sondern sollte in jedem Einzelfall geprüft werden. Grundsätzlich haben sich in den durchgeführten Projekten bei der Analyse kleinräumiger Szenarien vor allem FDTD-Simulationen, in dem großräumigen vor allem strahlenoptischen Verfahren bewährt.

## **Expositionen im Bereich von Mobilfunkbasisstationen**

In einer Analyse von Messreihen, in denen Mobilfunk-Immissionen nach den im DMF definierten Qualitätskriterien bezüglich Messdurchführung und Messauswertung erhoben worden waren, wurden auf maximale Anlagenlast extrapolierte Werte bis maximal  $0,28 \text{ W/m}^2$  gefunden. In einer durchgeführten Messkampagne, in der vornehmlich Standorte mit kombinierten GSM und UMTS Sendeanlagen untersucht wurden („Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen“), fanden sich auf volle Anlagenauslastung extrapolierte Werte in Höhe von bis zu  $69,3 \text{ mW/m}^2$  für UMTS und  $78,3 \text{ mW/m}^2$  für GSM. Die Medianwerte in dieser Untersuchung lagen für GSM bei  $1,5 \text{ mW/m}^2$  und für UMTS bei  $0,5 \text{ mW/m}^2$ . Festgestellt wurde, dass die Einzelwerte an Messorten im direkten Umfeld von Mobilfunk-Basisstationen einer äußerst großen Streuung unterliegen. Der Unterschied zwischen dem niedrigsten und höchsten Wert lag bei etwa 60 dB (Faktor 1.000.000). Insgesamt lagen die Medianwerte drei bis vier, die höchsten Werte mehr als eine Größenordnung unter den Grenzwerten.

Es wurden sowohl anlagenbezogene als auch immissionsortbezogene Faktoren identifiziert, welche einen Einfluss auf die Immissionen im Umfeld einer Basisstation haben. Dabei stellte sich heraus, dass ihr Zusammenwirken sehr komplex ist und eine isolierte Betrachtung einzelner Faktoren, z. B. des Abstands zwischen Anlage und Immissionsort, in der Regel zu unzulässigen Pauschalierungen führt. Von der Zellgröße und der damit verbundenen installierten Sendeleistung alleine kann z. B. nicht direkt auf die mögliche Immission geschlossen werden. Sichtbedingungen sowie die Lage des jeweiligen Immissionsortes zur Ausrichtung der Hauptkeule der Sendeantennen haben in jedem Fall einen deutlichen Einfluss auf die Exposition. Höhere Werte fanden sich eher in kleinzelligen Szenarien, da hier eine größere Annäherung an die Sendeantenne möglich ist, was trotz der in der Regel geringen Sendeleistungen zu vergleichsweise höheren maximal möglichen Expositionswerten führen kann. Hingegen wurden in der Umgebung hoch montierter Antennen, beispielsweise der Ultra High Sites (UHS) für UMTS, die im Rahmen dieser Untersuchungen niedrigsten auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Immissionen festgestellt.

Langzeitmessungen über 48 Stunden an einem fixen Messort in der Nähe einer UMTS Station, bei der aufgrund ihrer Lage im Stadtgebiet tagsüber mit einer gewissen Verkehrsauslastung zu rechnen war, ergaben nur geringe tageszeitliche Schwankungen in Höhe von 2,1 dB (Faktor 1,6). Dies deutet auf eine unerwartet geringe Auslastung der UMTS Netze während der Untersuchungen hin. In der Nähe einer mehrkanaligen GSM Anlage wurden hingegen tageszeitliche Schwankungen von etwa 7 dB (Faktor 5) beobachtet.

## **Expositionen im Bereich von DVB-T**

In zwei Messkampagnen, die zeitlich vor und nach der Einführung von DVB-T in den beiden Startregionen München und Nürnberg durchgeführt wurden, wurde versucht, die Auswirkungen auf die Exposition der Bevölkerung aufzuklären. Im Rahmen des Projektes „Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern“ wurden an über 300 Messpunkten vor und nach der Umstellung Untersuchungen durchgeführt. Die Messorte setzten sich zum einen aus ca. 200 statistisch in den zwei betrachteten Regionen verteilten, und zum anderen aus ca. 100 systematisch ausgewählten Messpunkten zusammen. Die Auswahl der statistisch verteilten Messorte erfolgte entsprechend der Bevölkerungsdichte gewichtet, so dass insgesamt mehr Messungen in städtischen als in ländlichen Gebieten durchgeführt wurden. Die

durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Ablösung der analogen Fernsehsender durch DVB-T keine generelle Verminderung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung mit sich bringt. Im Gegenteil wurde festgestellt, dass sich der Medianwert der durch analoges und digitales Fernsehen zusammen mit den Beiträgen von UKW und DAB Hörfunksendern verursachten Gesamtexposition nach der Umstellung auf DVB-T in den untersuchten DVB-T Startinseln München und Nürnberg von  $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  auf  $5,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  verfünffacht hatte. Insbesondere in den eher städtisch geprägten Gebieten der Versorgungsklasse „portable indoor“ hat sich eine Erhöhung der Exposition ergeben. So wurde im Bereich der Stadtgebiete Nürnberg / Fürth / Erlangen eine mittlere Zunahme von 6,8 dB ermittelt. Der insgesamt höchste Messwert lag bei  $6,6 \text{ mW}/\text{m}^2$ , der kleinste mehr als 50 dB darunter. Die Schwankungsbreite möglicher Immissionen ist demnach vergleichbar mit der der systematisch erhobenen Mobilfunk-Immissionen. Auch am Punkt mit dem höchsten Messwert wurden die Grenzwerte aber auch nach der Umstellung auf DVB-T um mehr als 2 Größenordnungen unterschritten. Dieser Punkt fand sich in unmittelbarer Nähe eines Funkturms (Abstand 100 m). Die Medianwerte lagen 6 Größenordnungen unter den Grenzwerten. Die Veränderung der installierten Sendeleistungen an dem für die betrachtete Region jeweils verantwortlichen Senderstandort hat sich nur als grober Indikator für eine mittlere Expositionsänderung erwiesen. So erhöhte sich in der Region Nürnberg die Exposition obwohl die mittlere Sendeleistung reduziert wurde. Offensichtlich übten auch noch andere Faktoren einen Einfluss auf die Exposition aus, insbesondere die Verlagerung von Standorten sowie die Veränderung der Montagehöhe der Sendeantennen. Die Übertragbarkeit auf andere Startinseln ist daher nur bedingt gegeben.

Eine besondere Stärke in dieser Untersuchung wird darin gesehen, dass sie parallel zur Einführung einer neuen Technologie durchgeführt werden konnte.

### **Expositionen im Bereich von WLAN Hot-Spots**

Eine Sonderstellung nahmen die Untersuchungen an WLAN Hot-Spot in der Studie „Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN - Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten“ ein, da für diese Anlagen teilweise handelsübliche WLAN Access Points eingesetzt werden, die nicht notwendigerweise ortsfest im eigentlichen Sinne sind und denen sich Personen in Ausnahmefällen durchaus auf sehr kurze Distanz (weniger als 1 m) nähern können. Anders als z. B. im Mobilfunkbereich sind Expositionen von Anlagen und Endgeräten nicht über unterschiedliche Sendefrequenzen oder verschiedene Codes getrennt, so dass eine messtechnische Trennung der jeweiligen Beiträge auf diese Weise nicht möglich ist.

Expositionsmessungen und vergleichende Computersimulationen wurden in einem Cafe, in einem Flughafenterminal, auf einem Universitäts-Campus, auf einem Platz in einem Innenstadtbereich, in Wohnvierteln, in denen ein drahtloser Internetzugang per WLAN für die Anwohner angeboten wird, sowie auf der Computermesse CeBit in Hannover durchgeführt. In allen Szenarien wurde von den Betreibern Technik der Standards IEEE 802.11b oder IEEE 802.11g eingesetzt. Ähnlich wie in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen müssen räumliche und zeitliche Spitzenwertmesswert von den über Körperdimensionen oder zeitlich gemittelten Werten unterschieden werden. Die derart bestimmten höchsten Werte lagen im Bereich von  $100 - 200 \text{ mW}/\text{m}^2$ . Werte in diesem Bereich sind allerdings nur zu erwarten, wenn man sich der Sendeantenne bis auf besonders kurze Distanz nähern kann (kleiner 30 cm). Die räumlich und zeitlich gemittelten Werte lagen etwa ein bis zwei Größenordnungen (Faktor 10 bis 100) darunter. In einem typischeren Szenario (Flughafenterminal) lag der maximale Expositionsspitzenwert bei  $12 \text{ mW}/\text{m}^2$ . In Outdoor-Szenarien wie sie für die Versorgung von öffentlichen Plätzen typisch sind, wurden nur Werte unterhalb von  $1 \text{ mW}/\text{m}^2$  gefunden. Die geringsten Immissionen ergaben sich in Situationen, in denen ein WLAN Access Point auf einem Hausdach oder auf einem Masten die Internetversorgung in einem Wohngebiet ermöglichen soll. In solchen Situationen sind Immissionen von typischerweise weniger als  $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  zu erwarten.

### **Expositionsabschätzung für epidemiologische Studien**

Im Bereich der Niederfrequenz haben sich Personendosimeter für die Expositionsklassifizierung in epidemiologischen Studien bewährt. Für den Bereich Mobilfunk standen zu Beginn des DMF keine geeigneten Personendosimeter zur Verfügung.

Im Rahmen der Prüfung, ob auf rechnerischem Weg eine für epidemiologische Studien geeignete individuelle Abschätzung von Expositionen in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen möglich ist, wurden in der Studie „Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden“ in insgesamt mehr als 700 Innenräumen Immissionsmessungen durchgeführt. Für die im Alltag auftretende Exposition der allgemeinen Bevölkerung liefern diese Untersuchungen zusätzliche Informationen, da anders als bei den systematischen Analysen keine auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Werte sondern aktuelle, also zum Zeitpunkt der Messung tatsächlich vorhandene Immissionswerte bestimmt wurden. Die Messungen erfolgten nach der Punktrastermethode und wurden örtlich gemittelt. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die GSM Netze, berücksichtigten aber auch die im Aufbau befindlichen UMTS-Netze. Es bestätigte sich, dass die von Mobilfunk-Basisstationen hervorgerufenen tatsächlichen Immissionen

bezogen auf die Expositionsgrenzwerte in der überwiegenden Zahl der Fälle gering sind. In mehr als 60% der untersuchten Innenräume lagen die wie oben beschrieben bestimmten Immissionen unter  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , in etwa 9% wurden Werte über  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$  gefunden. Zu berücksichtigen ist aber die von den systematischen Untersuchungen abweichende Auswahl der Messorte: Während für die systematischen Untersuchungen vornehmlich Messorte in der näheren Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen aufgesucht wurden, bildete die Verteilung der Messorte in dieser Studie hauptsächlich verschiedene Siedlungsstrukturen ab und erfasste auch weiter von Basisstationen entfernte Expositionsorte.

Unter Verwendung der Daten aus dieser Messreihe wurde ein Ausbreitungsmodell entwickelt, das in epidemiologischen Untersuchungen im Rahmen des DMF Anwendung bei der Expositionsabschätzung finden sollte (siehe Anlage 1, Kap. II.1.1). Das Modell beinhaltet Informationen zu umliegenden Mobilfunkstandorten (Zahl, Art der verbauten Sendeantennen, typische Werte für Sendeleistungen, Antennencharakteristika und Downtilt (Antennenneigung)) sowie mehrerer, empirisch bestimmter frequenzabhängiger Korrekturfaktoren für verschiedene Bebauungssituationen, die Hindernisse im Ausbreitungswege wie z. B. Hauswände beschreiben. Die Überprüfung des Modells mittels statistischer Standardtests zeigte je nach Bebauungstyp mittlere bis gute Ergebnisse; Unter- und Überschätzungen um etwa 2 Größenordnungen sind jedoch möglich. Im Vergleich zu Expositionsabschätzungen, die ausschließlich den Abstand des Immissionsortes von der Quelle als Maß für die vermeintliche Höhe der Exposition heranziehen (Santini 2003), wurde ein deutlich komplexeres Modell erarbeitet.

### III.1.2 Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder von Geräten

Die Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch elektromagnetische Felder wird nicht ausschließlich von ortsfesten Sendeanlagen, sondern zunehmend von persönlichen Kommunikationsgeräten, die in der Nähe des Körpers oder im Fall von Mobiltelefonen mit Kontakt zum Körper betrieben werden, bestimmt. Anders als bei den ortsfesten Sendeanlagen befinden sich exponierte Personen häufig nicht mehr im Fernfeld der Sendeantenne, so dass eine Beschreibung der Exposition über die Leistungsflussdichte in  $\text{W}/\text{m}^2$  physikalisch nicht mehr sinnvoll oder möglich ist. Die Exposition ist zudem häufig auf einzelne Körperteile (Kopf oder Rumpf) begrenzt. In diesen Expositionsszenarien müssen daher zwingend die in den Körper eingekoppelten elektromagnetischen Felder bestimmt werden, was messtechnisch allerdings nur in Körperphantomen unter Laborbedingungen möglich ist und ansonsten numerische Simulationen unter Verwendung möglichst hoch aufgelöster und realistischer Humanmodelle erforderlich macht. Als numerisches Berechnungsverfahren hat sich vornehmlich FDTD (Finite Difference Time Domain Method) für diese Aufgabe etabliert. Die Entwicklung oder Verbesserung von Modellen war Bestandteil von Projekten des DMF.

#### Entwicklung von Modellen

Neben der üblichen Telefonierhaltung, in der das Mobiltelefon am Kopf betrieben wird, war zu Beginn des DMF auch zunehmend mit Expositionsszenarien zu rechnen, in denen mobile Sender im Bereich des Unterbauchs (Gürteltasche) oder der Brust (Hemdtasche) betrieben werden. Für beide Expositionsszenarien war unklar, ob lokale Absorptionsmaxima oder Temperaturerhöhung auftreten können, die z. B. in homogenen Körperphantomen vorher nicht beobachtet werden konnten. Insbesondere oberflächennahe Organe wie Leber, Niere, Milz, Geschlechtsorgane oder Brust waren dabei von Interesse. Zudem war die Exposition für vermeintlich besonders empfindliche Zielstrukturen im Kopf wie z. B. das Auge, das Innenohr oder die Pinealdrüse nicht ausreichend bekannt. Zur Klärung mussten in einem Projekt („Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter“) zunächst hoch aufgelöste numerische Modelle erstellt und in ein existierendes Kopfmodell integriert werden. Die damit durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass in diesen Organen auch unter ungünstigsten Umständen keine als gesundheitlich relevant einzustufenden Temperaturerhöhungen beim Telefonieren mit Mobiltelefonen auftreten, wenn der empfohlene maximale Teilkörpergrenzwert von  $2 \text{ W}/\text{kg}$  eingehalten wird. Berechnete Temperaturerhöhungen lagen für alle inneren Organe unter  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . An der Körperoberfläche wurden in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen Erwärmungen im Bereich von  $0,8 - 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ermittelt. Dabei spielt allerdings eine verminderte Wärmeabgabe infolge des Abdeckens der Haut durch das Gerät eine größere Rolle als die absorbierte Energie. Hinsichtlich der Vermeidung thermischer Effekte wurde die Mittelung der SAR über  $10 \text{ g}$  Gewebemasse als konservativ bestätigt. Ebenso hat sich für die im Mobilfunk typischen Signale eine zeitliche Mittelung der SAR-Werte über  $6 \text{ min}$  als geeignet erwiesen.

Bei der Nutzung von leistungsstarken ( $2 \text{ W}$ ) Handfunkgeräten im  $400 \text{ MHz}$  Bereich kann es bei einer Positionierung der Antenne unmittelbar vor einem Auge unter ungünstigen Umständen zu Expositionen bis zu  $2 \text{ W}/\text{kg}$  und zu Erwärmungen um bis zu  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  kommen. Da die Augen besonders wärmeempfindlich sind, sollten entsprechende Geräte aus Vorsorgegründen nach Möglichkeit nicht längere Zeit in dieser Position betrieben werden. Die Exposition durch übliche Mobiltelefone führt hingegen u. a. aufgrund der geringeren zeitlich gemittelten maximal möglichen Sendeleistung ( $0,25 \text{ W}$ ) und aufgrund des üblicherweise wesentlich größeren Abstandes zwischen Antenne und Auge, zu deutlich geringeren Temperaturerhöhungen.

In den Untersuchungen am Rumpf („Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich“) wurden Effekte gefunden, die in homogenen Körpermodellen bislang nicht beobachtet werden konnten. So können aufgrund der

Schichtung des Körpergewebes (Haut, Fett, Muskel) körperoberflächennahe Stehwelleneffekte auftreten, die in einem realistischen anatomischen Modell bei Mittelung über 10 g zu einem bis etwa 1,5 dB erhöhten SAR-Wert führten. In homogenen Modellen und Messphantomen kann dieser Effekt aufgrund der fehlenden Schichtung nicht reproduziert werden. Da der Effekt erst ab einem definierten Abstand von einigen Zentimeter zwischen Sender und Körper einsetzt, ist eine Überschreitung von Grenzwerten unwahrscheinlich. Dieser Effekt sollte aber aus Sicht des Forschungsnehmers und des BfS künftig im Rahmen der Gerätesicherheitsprüfung für am Körper betriebene Geräte berücksichtigt werden.

Vorläufige, noch zu validierende Ergebnisse einer Untersuchung an anatomischen Kopfmodellen von Kindern ergaben Hinweise, dass in einigen Regionen des kindlichen Kopfes höhere SAR-Werte auftreten als im Erwachsenen-Modell (siehe auch Anhang 1, Kap. I.5).

## Expositionen

Bei der Verwendung von Mobiltelefonen in einer typischen Telefonierhaltung am Ohr ist durch den für jedes Modell vom Hersteller normgerecht zu bestimmenden maximalen SAR-Wert eine Begrenzung der Exposition des Nutzers gegeben. Auf dem europäischen Markt befindliche Geräte müssen den empfohlenen Teilkörper-SAR-Grenzwert von 2,0 W/kg einhalten. In der Praxis wird die tatsächliche Exposition des Nutzers jedoch u. a. auch durch die vom Mobilfunknetz gesteuerte Sendeleistungsregelung beeinflusst. Zu Beginn des DMF lagen wenige Informationen darüber vor, in welcher Größenordnung die tatsächlichen SAR-Werte in praxisnahen Telefoniersituationen unter den maximal möglichen Werten liegen. Zudem wurden Bedenken geäußert (Hondou 2002), dass beim Betrieb mehrerer Mobiltelefone in metallisch umschlossenen oder begrenzten Räumen, namentlich in Zugwagons, die empfohlenen Personenschutzgrenzwerte überschritten werden könnten.

Da der SAR-Wert nur in Körperphantomen unter Laborbedingungen, nicht aber direkt im menschlichen Kopf gemessen werden kann, wurde in einer im DMF durchgeführten Untersuchung („Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt“) aus dem protokollierten zeitlichen Sendeleistungsverlauf sowie aus der Handhaltung des Nutzers rechnerisch auf den aktuellen SAR-Wert geschlossen. Typische Haltungsweisen des Mobiltelefons wurden dafür aus Videoaufzeichnungen abgeleitet. In den untersuchten realistischen Alltagssituationen erreichten die eingesetzten Geräte im GSM-Betrieb den maximalen Sendeleistungspegel je nach Netzversorgung zwischen 5 % und 30 % der Gesprächsdauer. Während dieser Zeit wird ein Wert erreicht, der dem maximalen vom Hersteller angegebenen SAR-Wert nahe kommt. Während eines bei einem einstündigen Fußmarsch geführten Telefonats bei vergleichsweise schlechter Netzversorgung wurde im D-Netz (900 MHz) ein zeitlich gemittelter maximaler Sendeleistungspegel von 1,39 W ermittelt. Der daraus ableitbare zeitlich gemittelte, tatsächlich SAR-Wert betrug 0,5 W/kg, entsprechend etwa 70 % des unter Laborbedingungen für das verwendete Mobiltelefon maximal gemessenen Wertes bzw. 25% des insgesamt zulässigen Wertes. Es bestätigte sich, dass die tatsächliche Exposition durch elektromagnetische Felder des Mobiltelefons während eines Telefonats mit der Mobilfunkversorgung korreliert ist, so dass bei einer guten Netzversorgung mit einer geringeren Exposition zu rechnen ist. Dies zeigte sich auch in Messungen und Simulationsrechnungen, die in teilweise metallisch umschlossenen Räumen wie z. B. Kraftfahrzeugen durchgeführt wurden, in denen von einer vergleichsweise schlechten Verbindungsqualität zur Basisstation ausgegangen werden kann („Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien“). Auch hier konnte ein vermehrtes Auftreten höherer Sendeleistungspegel beobachtet werden. So führten beispielsweise Messungen in einem Pkw zu bis zu vierfach erhöhten durchschnittlichen Sendeleistungspegeln und damit verbundenen tatsächlichen SAR-Werten, verglichen mit einem Telefonat, das am gleichen Ort außerhalb des Fahrzeugs geführt wurde. Hinweise für eine Überschreitung von empfohlenen Personenschutzgrenzwerten konnten aber auch bei gleichzeitigem Betrieb sehr vieler Mobiltelefone auf engem Raum nicht gefunden werden.

Abgesehen von der Nutzung von Mobiltelefonen hat die technische Entwicklung und der Trend zur mobilen Kommunikation dazu geführt, dass drahtlose Übermittlungsverfahren zunehmend auch in klein- und kleinräumigen Netzwerkkonstruktionen im Büroalltag und im privaten Bereich eingesetzt werden. Expositionen, die durch den Betrieb von Funksystemen wie z. B. WLAN, DECT oder Bluetooth entstehen können, waren zu Beginn des DMF wenig systematisch untersucht. Auch wenn die maximalen Sendeleistungen der einzelnen Produkte überwiegend gering sind, konnte nicht ausgeschlossen werden, dass die Vielzahl der möglichen Anwendungen zu einer nicht vernachlässigbaren Exposition führt. Im DMF wurde daher einerseits versucht, maximale Expositionen einzelner Geräte zu bestimmen, andererseits aber auch typische Alltagssituationen und Szenarien zu analysieren.

Die Untersuchungsergebnisse aus dem Projekt „Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro“ zeigen, dass unter üblichen Nutzungsbedingungen die räumlich über Körperdimensionen und zeitlich über 6 Minuten gemittelten Immissionen von DECT-, WLAN-, und Bluetooth-Geräten weit unterhalb der Grenzwertempfehlungen liegen. Zwischen zeitlich und räumlich gemittelten Werten und den auftretenden Spitzenwerten können aber aufgrund der von den Technologien eingesetzten Modulations-, Zugriffs- und Duplexverfahren sowie aufgrund von Wellenausbreitungsphänomenen (fast fading) 2 bis 3 Größenordnungen liegen. Dies ist bei der messtechnischen Erfassung und Bewertung von Expositionen zu berücksichtigen.

Messungen der Expositionen von Technologien, die wesentliche Parameter, wie z. B. das Tastverhältnis oder den genutzten Frequenzkanal im Betrieb, nicht konstant halten, sind schwierig. Als geeignetes Messverfahren zur Bestimmung zeitlich gemittelter Expositionen körperferner Quellen hat sich hier insbesondere die frequenzselektive Kanalleistungsmessungen mit hochwertigen Spektrumanalysatoren unter Verwendung des RMS Detektors erwiesen. Die Bestimmung der maximal möglichen Exposition kann mit diesem Verfahren allerdings in der Regel nicht geleistet werden. Auch das für die Bestimmung der maximalen Exposition verwendete Verfahren (MaxHold) führt in diesen Fällen meist zu einer Überschätzung. Zur möglichst exakten Bestimmung der Exposition sind zusätzlich zu den Feldstärkemessungen Datenverkehrsanalysen sinnvoll.

In typischen Bürsumgebungen wurden (mittels MaxHold) räumliche und zeitliche Expositionsspitzenwerte zwischen 5,8 und 55 mW/m<sup>2</sup> für WLAN und 3,2 und 25,7 mW/m<sup>2</sup> für DECT gefunden. Räumlich über Körperdimensionen sowie zeitlich gemittelte Werte lagen unter 1 mW/m<sup>2</sup>. Insbesondere bei DECT kann der gemessene Expositionsspitzenwert aufgrund des verwendeten Zeitschlitzverfahrens sowie der dynamischen Frequenzwahl je nach Anzahl der über die DECT Station abgewickelten Telefongespräche die tatsächliche Exposition systematisch bis zu 30 dB (Faktor 1000) überbewerten.

Höhere Expositionswerte können bei körpernahe Betrieb der jeweiligen Sendegeräte auftreten. So ermittelten Kramer *et al* 2005 messtechnisch einen SAR-Wert von 0,81 W/kg beim Betrieb eines WLAN Access Points direkt am Messphantom. In einem realistischeren Szenario wurde im DMF ein maximaler SAR-Wert von 52 mW/kg beim Betrieb einer PCMCIA WLAN Karte für Notebooks an einem Messphantom ermittelt. Mit 87 mW/kg wurde ein ähnlicher Maximalwert für einen Bluetooth USB Stick der Leistungsklasse I ermittelt.

Die insgesamt höchsten Expositionen wurden in der Umgebung des leistungsstärksten der in der Studie „Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro“ untersuchten Geräte (Babyphone, Sendeleistung 500 mW) gefunden. Messungen der SAR in zwei unterschiedlichen Positionierungen (jeweils mit Kontakt des Geräts zum Phantom) ergaben 0,07 W/kg bzw. 0,13 W/kg. Auch diese Werte liegen deutlich unter den Grenzwerten. Kramer *et. al* (2005) fanden bei Untersuchungen an einem ebenso leistungsstarken Babyphon bei vergleichbarer Positionierung zum Messphantom einen gut mit dem im DMF gefundenen Wert übereinstimmenden SAR-Wert von 0,077 W/kg.

Auch eine gleichzeitige Exposition durch mehrere körperfern betriebene Geräte zur kabellosen Informationsübermittlung in Haushalt und Büro führt offensichtlich zu Gesamtexpositionen deutlich unterhalb der empfohlenen Grenzwerte. Eine Überschreitung der Grenzwerte durch die untersuchten Geräte ist selbst bei Betrieb mit Kontakt zum Körper und unter ungünstigsten Bedingungen, z. B. hinsichtlich des vom Datenverkehr abhängigen Duty-Cycles, sehr unwahrscheinlich. Expositionen körperfern betriebener Geräte werden durch zusätzlich körpernah betriebene Geräte in der Regel dominiert.

### III.2 EXPOSITIONSSYSTEME FÜR LABORSTUDIEN

Zu Beginn des DMF waren kaum standardisierte Expositionssysteme verfügbar, die den speziellen technischen Anforderungen der unterschiedlichen Laborstudien gerecht wurden. Konstruktion und Aufbau geeigneter Systeme waren daher integraler Bestandteil vieler biologischer Projekte. Die Zusammenarbeit von Hochfrequenztechnikern, Physikern und Biologen konnte dabei insgesamt verbessert werden.

Eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Expositionsvorrichtungen wurden im Laufe des DMF entwickelt, angefangen bei Hohlleitern zur Befeldung einzelner Zellen (siehe auch Anhang 1, Kap. I.2.3), über am Körper tragbaren Antennensystemen zur lokalen Nahfeldexposition von Versuchspersonen (Bahr *et al.*, 2007) bis hin zu metergroßen geschirmten Expositionskammern zur gleichzeitigen chronischen Exposition von mehr als 100 Versuchstieren mit unterschiedlichen Mobilfunksignalen über mehrere Generationen hinweg (Schelkshorn *et al.*, 2007).

Sowohl für *in-vitro* wie für *in-vivo* Experimente ist die möglichst genau definierte Exposition wichtig, um aus den Projektergebnissen Folgerungen für den Strahlenschutz ableiten zu können. Während die Expositionsbedingungen in den *in-vitro* Experimenten mess- und rechentechnisch in den jeweiligen Projekten selbst untersucht wurden, wurde zu Beginn des DMF ein eigenständiges dosimetrisches Projekt durchgeführt, das die Bestimmung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren (Maus und Ratte, Trächtigkeitstag 15 p. c.) zum Gegenstand hatte („Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren“) und diesbezüglich wertvolle Hinweise auf die zu berücksichtigenden dosimetrischen Randbedingungen in anderen Projekten mit Labornagern liefern konnte. Dabei wurden fernfeldähnliche Expositionsverhältnisse bei Frequenzen von 450 MHz, 900 MHz, 1,8 GHz und 5 GHz zugrunde gelegt, wie sie häufig bei entsprechenden Studien Anwendung finden. Zum Vergleich wurde die SAR-Verteilung in einem standardisierten Modell eines Menschen basierend auf dem Datensatz des „Visible Human Projects“ ermittelt, um die Übertragbarkeit von Projektergebnissen auf den Menschen abschätzen zu können. Die erstellten Voxelmodelle der Versuchstiere erreichten mit Hilfe eines auf der Digitalisierung von Mikrotomschnitten basierenden Verfahrens eine vorher nicht erreichbare hohe Auflösung von bis zu ca. 0,06 mm<sup>3</sup> für die Maus und 0,2 mm<sup>3</sup> für die Ratte. In den Modellen wurden über 100 Organ- bzw. Gewebearten unterschieden und somit insgesamt sehr realitätsnahe

Rechenmodelle geschaffen. Die Anwendung dieser Modelle in Simulationsrechnungen unter Einsatz der FDTD Methode erbrachte quantitative Ergebnisse der zu erwartenden SAR-Verteilung in Versuchstieren in Abhängigkeit von Frequenz und Polarisation des applizierten elektromagnetischen Feldes und in Abhängigkeit von der Ausrichtung der Tiere zum einfallenden Feld. Die bereits bekannte Abhängigkeit der Ganzkörper-SAR-Werte von der Orientierung der Modelle im Feld wurde dabei bestätigt. Neben den über den Gesamtkörper gemittelten SAR-Werten wurden aber auch organspezifische SAR Spitzen- und Mittelwerte ermittelt. Aufgrund der deutlich unterschiedlichen Körpergrößen und Körpermassen von Versuchstieren und Menschen ergeben sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verhältnisse von Ganzkörper-SAR-Werten zu den gemittelten Werten. Diese Kenntnisse konnten in anderen biologischen Projekten für die Einstellung von Expositionsparametern genutzt werden und sind wertvoll hinsichtlich der Diskussion der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen.

## **IV BEWERTUNG DER STUDIEN AUS DEM BEREICH RISIKOKOMMUNIKATION**

Zu Beginn des DMF gab es wenige deutschlandweite Untersuchungen über die allgemeine Risikowahrnehmung in der Gesellschaft (Zwick und Renn 2002; Büllingen *et al.* 2002). Mobilfunk als möglicherweise gesundheitsschädlicher Einflussfaktor war insbesondere in der Presseberichterstattung seit etwa 2000 immer stärker in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt. Die Untersuchungen im Rahmen des DMF dienten dazu herauszufinden, wie stark die gesellschaftliche Besorgnis und Wahrnehmung des Themas Mobilfunk insgesamt war, welche Veränderungen über die Zeit hinweg beobachtet werden konnten, und wie sich die Risikowahrnehmung in speziellen Untergruppen gestaltet. Ein spezieller Fokus der Studien war die Kommunikation auf der lokalen Ebene im Zusammenhang mit der Standortwahl.

Diese Erkenntnisse sollten dabei unterstützen, die Risikokommunikation im Allgemeinen und Informationsmaßnahmen im Speziellen bewusster auf wichtige Zielgruppen auszurichten.

### **IV.1 INFORMATIONSBEDÜRFNIS UND RISIKOWAHRNEHMUNG ELEKTROMAGNETISCHER FELDER IN DER ÖFFENTLICHKEIT**

Die gesellschaftliche Risikowahrnehmung im Bereich Mobilfunk und in speziellen Untergruppen wurde anhand mehrerer Studien untersucht:

Bundesweit repräsentative Telefonbefragungen, die zwischen 2003 und 2006 im jährlichen Abstand an jeweils 2.500 Personen ab 14 Jahren durchgeführt wurden, sollten mögliche Veränderungen in den verschiedenen Befragungsinhalten beleuchten (Projekt „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen“). Im Zentrum der Befragungen standen die möglichen gesundheitlichen Befürchtungen und wahrgenommenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bevölkerung im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) des Mobilfunks. Darüber hinaus wurden verschiedene Parameter der Handynutzung, Informationsstand, sowie Kenntnis und Anwendung von Vorsorgemaßnahmen erhoben.

Eine weitere repräsentative telefonische Bevölkerungsbefragung an 1.000 Personen wurde mit dem Ziel durchgeführt, eine Clusteranalyse für Zielgruppen zu bilden (siehe 11.2.1). In dieser Studie wurden die Befragten zu ihren Einschätzungen zu technischen Innovationen, den damit verbundenen Risikopotentialen, zum Komplex Mobilfunk / elektromagnetische Felder, zum betreffenden Informationsstand, zu Lebenseinstellungen, Verhaltens- bzw. Kommunikationsweisen etc. befragt. Ziel der Studie war es festzustellen, ob, und wenn ja welche zentralen Zielgruppen für Informations- und Kommunikationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk innerhalb der deutschen Bevölkerung festgestellt werden können (Projekt „Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information über Mobilfunk und Gesundheit“).

In einer eigenen Befragung (Projekt „Ergänzende Informationen über Elektrosensible“) wurden Personen näher untersucht, die gesundheitliche Beschwerden auf elektromagnetische Felder zurückführen.

#### **IV.1.1 Rahmenparameter der Mobilfunk-Nutzung**

Sowohl das Telefonieren mit dem Handy als auch die Nutzung von schnurlosen Festnetztelefonen hat in der Bevölkerungsgruppe ab 14 Jahre zwischen 2003 und 2005 von 73 bzw. 76 % auf 79 bzw. 82 % zugenommen. In 2006 war der Bevölkerungsanteil, der mit dem Handy telefoniert, wieder leicht rückläufig (76 %); der Anteil der Nutzer von Schnurlostelefonen konsolidierte sich bei 83 %. 41 % derer, die das Handy täglich benutzten, gaben eine Telefonierdauer von täglich bis zu 5 Minuten an. 21 % telefonierten 6-10 Minuten, 9 % 11-15 Minuten und 14 % 16-30 Minuten.

Hinter der Nichtnutzung von Handys stand in allen vier Befragungsjahren nicht zwingend eine Ablehnung dieses Kommunikationsmittels, sondern einfach ein mangelnder Bedarf. Einen Verzicht auf das Handy konnten sich selbst unter der Annahme eines Nachweises von gesundheitsschädigenden Einflüssen nur etwa die Hälfte der befragten Handynutzer vorstellen.

## IV.1.2 Wahrnehmung von Mobilfunksendeanlagen

Fast die Hälfte der Befragten (47 % in den Jahren 2004 bis 2006, 43 % in 2003) wusste um den Standort einer Mobilfunk-Sendeanlage im Umkreis von bis zu 5 km um die eigene Wohnung bzw. vermutete zumindest eine solche Sendeanlage im Umkreis. Dabei war sich nur etwa ein gutes Drittel aller Befragten sicher, eine Mobilfunk-Sendeanlage auf den ersten Blick erkennen zu können.

## IV.1.3 Einflüsse auf Besorgtheit

Ohne nennenswerte Veränderung waren in den Jahren 2003 bis 2005 die Anteile der Bevölkerung, die sich im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks als besorgt beschrieben. Der Anteil der Besorgten war in 2006 leicht, jedoch nicht signifikant, von 30 % in den Vorjahren auf 27 % gesunken. Für sich genommen ist durchaus bemerkenswert, dass sich ein gutes Viertel wegen EMF Sorgen machte. Andererseits blieb über alle Befragungsjahre die Besorgnis wegen EMF des Mobilfunks weit unter dem Grad der Besorgnis wegen möglicher gesundheitlicher Gefährdungen durch Luftverschmutzung, Nebenwirkungen von Medikamenten, Verzehr von Fleisch unbekannter Herkunft, starken Zigarettenrauchens sowie der Teilnahme am Straßenverkehr. Dabei zeigte sich, dass die Wahrscheinlichkeit, wegen EMF besorgt zu sein steigt, je höher die Anzahl der nicht strahlungsbezogenen Faktoren ist, wegen der die Befragten sich gesundheitlich besorgt zeigen. Der Zusammenhang zwischen den Ausprägungen hat einen nahezu linearen Charakter. Auf den ersten Blick erscheint dieses Ergebnis erwartbar. Im Kern deutet es jedoch darauf hin, dass sich elektromagnetische Felder als Belastungsquellen aus Sicht der Betroffenen in ihrem Charakter nicht grundsätzlich von anderen bekannten Risikofaktoren unterscheiden.

Besonders hoch war der Anteil der wegen EMF Besorgten unter anderem in der Region Südwest (Bayern, Baden-Württemberg), unter den Befragten zwischen 35 und 64 Jahren, Befragten mit höherem Schulabschluss, Befragten ohne Handynutzung und Befragten ohne Schnurlostelefon. Befragte, nach deren Wissen sich eine Sendeanlage im Umkreis von etwa 5 km um die eigene Wohnung befindet und die dies als in unmittelbarer Wohnumgebung empfinden, waren eher besorgt als Befragte, die dies nicht als in der unmittelbaren Umgebung empfinden oder solche, die keine Sendeanlage innerhalb 5 km kennen. Mobilfunk-Sendeanlagen wurden insgesamt als bedrohlicher wahrgenommen als Handys oder Schnurlostelefone.

Die Ergebnisse zeigten, dass mit steigender Informiertheit die Wahrscheinlichkeit steigt, zu den Besorgten zu zählen. Nur in der Gruppe der sehr gut Informierten fällt dieser Anteil wieder in etwa auf den Bevölkerungsschnitt zurück.

## IV.1.4 Beeinträchtigung

Das Thema der körperlichen Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder wurde auf zweierlei Art und Weise betrachtet.

Zum einen wurde in den jährlichen Umfragen der Anteil der Bevölkerung erhoben, die sich „durch die elektromagnetischen Felder, die von Mobilfunk- Sendeanlagen, Handys oder schnurlosen Telefonen ausgehen in Ihrer Gesundheit beeinträchtigt fühlen“ (Ja/Nein). Im Jahr 2006 lag dieser Anteil bei 9 %. Auch hier ist über die 4 Jahre hinweg keine nennenswerte Veränderung zu verzeichnen.

Kopfschmerzen, Schlafprobleme und allgemeines Unwohlsein in Form von Schlappeit zählen zu den häufigsten genannten konkreten Beschwerden durch elektromagnetische Felder. Allerdings konnte die Mehrheit (etwa 60 %) der nach Selbsteinschätzung durch elektromagnetische Felder Beeinträchtigten keine genauen gesundheitlichen Beschwerden benennen.

Insgesamt befürchteten etwa zwei Drittel der als „besorgt“ oder „beeinträchtigt“ identifizierten Personen eher unspezifische Beschwerden, von denen sie sich noch keine genaueren Vorstellungen machten. Der persönliche Handlungsspielraum zur Verringerung oder Vermeidung möglicher Risiken durch elektromagnetische Felder wurde in der Befragung 2005 nur von etwa jedem achten Besorgten/Beeinträchtigten als groß bezeichnet. Gut die Hälfte sah bestimmte, aber begrenzte Handlungsmöglichkeiten. Etwa ein Drittel sah schließlich keinen entsprechenden Handlungsspielraum.

Zum anderen wurden in einer speziellen Befragung Ende des Jahres 2004 spezifische sozio- und psychografische Eigenschaften von Personen untersucht, die konkret beschreibbare und mehr als ein mal auftretende persönliche gesundheitliche Beschwerden auf das Vorhandensein von elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern zurückführen. Der anhand eines Screenings ermittelte Anteil derart Beeinträchtigter in der bundesdeutschen Gesamtbevölkerung lag bei 6 %. Hinsichtlich soziodemographischer Merkmale zeigen die Daten im Vergleich zur Gesamtbevölkerung bei dieser Personengruppe keinen signifikanten Unterschied in den Merkmalen Alter, Geschlecht, Haushaltsgröße und Ost-West-Verteilung. Hinsichtlich des Bildungsstands und der regionalen Verteilung zeigten sich jedoch Unterschiede: Mit einem Abiturientenanteil von 26 % waren Personen, die EMF-Beschwerden angaben, höher gebildet als der Bevölkerungsdurchschnitt (15 %). Weiterhin wurde mit einem Anteil von 34 % der EMF-Beeinträchtigten eine regionale Häufung im Südwesten Deutschlands festgestellt. Rund die Hälfte der befragten EMF-Beeinträchtigten (49 %) berichtete über frühere gesundheitliche Beschwerden, welche aber zum Zeitpunkt des Interviews nicht mehr bestanden. 51 % gaben

aktuell bestehende Beschwerden an. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kam auch eine Befragung in der Schweiz. Hier wurde ein Anteil von 5 % der Bevölkerung ermittelt, der gesundheitliche Beschwerden auf EMF zurückführt. 2,7 %, also etwas mehr als die Hälfte dieser Personengruppe, berichtete hier von gegenwärtigen Beschwerden, 2,2 % berichteten von solchen Beschwerden in der Vergangenheit (Schreier *et al.* 2006).

Unter allen möglichen Einflussquellen wurde von 36 % der EMF-Beeinträchtigten das Handy genannt, gefolgt vom Fernseher (22 %), dem Radiowecker (19 %) sowie Mobilfunk-Sendeanlagen (17 %). Dabei haben die genannten Quellen einen unterschiedlichen Stellenwert für die Betroffenen, je nachdem, ob diese akut oder nicht mehr akut über Beschwerden berichten. Während rund 40 % derjenigen, die zum Befragungszeitpunkt noch unter den Beschwerden litten, Handys oder Mobilfunk-Sendeanlagen als Haupteinflussquelle angaben, sind es bei den Befragten, die zum Befragungszeitpunkt keine Beschwerden mehr hatten, nur 28 %. Umgekehrt geben 25 % derjenigen, die zum Befragungszeitpunkt keine Beschwerden mehr hatten, Radiowecker als stärkste Quelle an, während diese EMF-Quelle für Personen mit aktuellen Beschwerden mit 1 % Anteil kaum eine Rolle spielte. Die Art und Stärke der Beschwerden variierten in Abhängigkeit von der Strahlenquelle. So wurden z. B. Hochspannungsmasten durchschnittlich eine stärkere Wirkung als Handys attestiert. Eine Nutzungseinschränkung, die auf eine Technikaversion hindeuten könnte, zeigte sich bei den Personen mit EMF-Beschwerden nicht. Die in der Befragung festgestellte Handybesitzrate war hier sogar höher als im Bevölkerungsdurchschnitt (87 % zu 78 %), das Handy-Nutzungsverhalten dagegen wieder vergleichbar.

Am Ende der Befragung wurden die Befragten mit der Bezeichnung „elektrosensibel“ konfrontiert. Gut der Hälfte der betroffenen Personen war dieser Begriff bekannt. Von denjenigen, die den Begriff kannten, hat sich nur etwa ein Drittel bereits selbst als "elektrosensibel" bezeichnet – umgerechnet also knapp 1,5 % der deutschen Bevölkerung. Zum Vergleich: durch internationale Forschungsergebnisse sowie Abschätzungen verschiedener Interessensgruppen wird ein Bereich von 1,5 % bis 10 % für den Anteil elektrosensibler Personen an der Bevölkerung aufgespannt.

Bei näherer Betrachtung in psychologischen Tiefeninterviews zeigten sich Personen, die gesundheitliche Beschwerden schon mal auf elektromagnetische Felder zurückgeführt haben, als heterogene Gruppe in Bezug auf die persönliche Bedeutung von Strahlung im lebensweltlichen Kontext. Gesundheitliche Beschwerden durch elektromagnetische Felder erwiesen sich als vielgestaltiges Thema, bei dem sich viele Befragte immer wieder auch in einem inneren Zwiespalt erleben. Feste Verknüpfungen zwischen 'Symptom' und 'Auslöser' (immer wenn..., dann...) wurden – anders als bei standardisierten Befragungen – eher im Ausnahmefall getroffen. Die Interviews zeigten, dass gesundheitliche Beschwerden durch elektromagnetische Felder nicht ein feststehendes und isoliertes 'Faktum' im Lebensalltag der Befragten sind.

### **Quellen von Besorgnis und Beeinträchtigung**

Es fällt auf, dass Personen, die im Rahmen der jährlichen Umfragen eine mehr oder weniger starke Besorgnis oder Beeinträchtigung ausdrückten, die Mobilfunksendeanlage stärker als Quelle der Besorgnis oder Beeinträchtigung angaben als das Handy. In der näheren Betrachtung der Personen, die ihre gesundheitlichen Beschwerden durch EMF konkreter benennen konnten, spielt die Mobilfunksendeanlage eine geringere Rolle. Erklären lässt sich dies durch unterschiedliche Vorgehensweisen der beiden Befragungen: Der Schwerpunkt der jährlichen Umfragen lag auf der Wahrnehmung des Themas Mobilfunk und Gesundheit in der allgemeinen Bevölkerung. Anhand mehrerer Ergebnisse wurde deutlich, dass hier eher „diffus“ Besorgte und Beeinträchtigte erfasst wurden. Die Abfrage der Besorgnis-/Beeinträchtigungsquelle erfolgte gestützt, d.h. die möglichen Antworten wurden dem Befragten vorgelesen.

Bei der Studie zu EMF-Beeinträchtigten lag der Schwerpunkt mehr auf der Beeinträchtigung durch EMF, die Erhebung möglicher Quellen der Beeinträchtigung erfolgte ungestützt, d.h. ohne die Antwortvorgaben vorzulesen. Anhand der Screening-Fragen wurden hier Personen erfasst, deren Beeinträchtigung durch EMF konkreter ausfiel. Grundsätzlich wird deutlich, dass sich die so genannten „beeinträchtigten“ Personen beider Studien in dem Stellenwert bestimmter Quellen und elektromagnetischer Felder unterscheiden.

### **IV.1.5 Informationsstand, Informationsverhalten**

Über verschiedene Studien hinweg wurde ein geringer objektiver und auch subjektiv empfundener Informationsstand in der Bevölkerung festgestellt.

Wie die jährlichen Umfragen zeigten, haben sich im Jahr 2006 34 % der Befragten vor dieser Befragung noch nie mit dem Thema elektromagnetische Felder des Mobilfunks befasst. 27 % bezeichneten sich als gar nicht hierüber informiert. Nur 8 % haben sich vor der Befragung schon „viel“ mit dem Thema beschäftigt, als sehr gut informiert bezeichneten sich 3 %. Die Aufmerksamkeit für das Thema EMF ist - gemessen an der hohen Nutzungsquote - als eher gering einzuschätzen und zeigte in den vier Befragungsjahren seit 2003 keine Veränderung.

Der SAR-Wert war nur einem guten Viertel der Befragten bekannt (in 2006: 27 %). Auch im Zeitvergleich ist seit 2003 die Bekanntheit des SAR-Wertes nicht gestiegen. Zur verhältnismäßig niedrigen Bekanntheit des SAR-Wertes kommt die geringe handlungsleitende Wirkung dieses Merkmals: in 2006 haben sich erst 15 % derer, die den SAR-Wert kennen, bei einer Entscheidung über die Anschaffung eines Handys am SAR-Wert orientiert. Bezogen auf die Bevölkerungsgruppe ab 14 Jahre macht dies einen Anteil von etwa 4 % aus.

Ergebnisse der Befragung „Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information“ unterstützen die geringe gezielte Aufmerksamkeit für das Thema: gefragt nach der Bekanntheit von Begriffen aus dem Bereich Mobilfunk und elektromagnetische Felder zeigte sich, dass die im täglichen Gebrauch oder in den Medien verwendeten Begriffe, wie SMS, Elektromog, elektromagnetische Felder, SIM-Karte, einer überwiegenden Mehrheit der Befragten bekannt waren. Spezifische Begriffe, wie z. B. athermische gesundheitliche Effekte (23 %), thermische gesundheitliche Effekte (35 %) oder GSM (45 %) waren deutlich weniger bekannt.

Gefragt nach den Gründen für ein Interesse oder Desinteresse am Thema Mobilfunk zeigte sich, dass die Gründe für das Interesse hauptsächlich in der Verunsicherung durch die Medienberichterstattung liegen (57 % der hier Befragten). Weitere Gründe waren im Wesentlichen in der Verunsicherung in Bezug auf gesundheitliche Wirkungen zu suchen (Kinder wollen ein Handy: 27 %, Sendemast in Wohnungsnahe: 26 %, Sorge um eigene Gesundheit/Gesundheit der Familie: 19 %). Das sehr weit verbreitete Desinteresse an Mobilfunk und Gesundheit war hauptsächlich auf eine Abwägung der Vorteile gegenüber den als gering einzustufenden Risiken zurückzuführen (75 %), bzw. auch auf die Einstellung, es gebe so gut wie kein Risiko (46 %).

In Bezug auf den Informationsstand fällt bei Personen, die gesundheitliche Beschwerden auf elektromagnetische Felder zurückführen, im Vergleich zur Gesamtbevölkerung der höhere Anteil an gut/sehr gut Informierten auf. Nur 17 % dieser Personengruppe fühlten sich über die gesundheitlichen Auswirkungen von EMF nicht informiert, jeder Zweite fühlte sich zumindest ein bisschen informiert und ein Drittel fühlte sich gut oder sehr gut informiert. In ihrem Informationsverhalten zum Thema EMF/Elektrosensibilität waren Personen mit EMF-Beschwerden vergleichbar mit der Gesamtbevölkerung: Massenmedien wie Zeitungen/Zeitschriften bzw. Fernsehen/Radio standen als Informationsquellen über elektromagnetische Felder an erster Stelle.

Als Gesprächspartner für gesundheitliche Beschwerden durch elektromagnetische Felder wurde überwiegend die Familie angegeben, sowie Partner und Freunde. Erstaunlich ist, dass weniger als die Hälfte der Betroffenen diesbezüglich einen Arzt aufgesucht hat. Eine mögliche Erklärung ist, dass dies im Zusammenhang mit vorangegangenen Erfahrungen mit Arztbesuchen steht, die keine befriedigende Erklärung gebracht haben.

#### **IV.1.6 Kenntnis und Anwendung von Vorsorgemaßnahmen**

Es zeigte sich, dass Vorsorge zum Schutz gegen elektromagnetische Felder im gesamten Befragungszeitraum für 8 von 10 Befragten kein relevantes Thema war; sie zogen solche Maßnahmen weder in Erwägung noch führten sie diese durch. Empfehlungen zur Handynutzung haben in der Bevölkerung einen sehr unterschiedlichen Bekanntheitsgrad. Am bekanntesten waren die Empfehlungen, auf das Handytelefonat zugunsten des Festnetzes zu verzichten, Gespräche mit dem Handy kurz zu halten sowie die Empfehlung zur Verwendung von Freisprechanlage/Head-Set und Außenantenne im Auto. Nur bei gutem Empfang mit dem Handy zu telefonieren, war als Vorsorgemaßnahme beispielsweise weitgehend unbekannt. Personen, die körperliche Beschwerden auf elektromagnetische Felder zurückführen, wiesen ein deutlich höheres Vorsorgeverhalten auf (s. u.).

In der Gruppe der Personen, die gesundheitliche Beschwerden auf elektromagnetische Felder zurückführen, hatten bereits 63 % über Vorsorgemaßnahmen nachgedacht oder sie bereits aktiv eingeleitet, ein deutlich höherer Anteil als in der allgemeinen Bevölkerung.

#### **IV.1.7 Bekanntheit von Institutionen, Kompetenz, Glaubwürdigkeit**

In der Studie „Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information“ wurde die Bekanntheit ausgewählter Institutionen und die Glaubwürdigkeit ihrer Informationen erhoben. Die Verbraucherzentrale ebenso wie staatliche Organisationen waren einem Großteil der Befragten bekannt. Mobilfunkspezifische Institutionen wie das Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) oder die Forschungsgemeinschaft Funk (FGF) waren nur einem kleinen Teil bekannt. Eine besonders hohe Glaubwürdigkeit in der Wahrnehmung der Befragten genossen Verbraucherzentrale, BfS, UBA und BMU. Dennoch zeigte sich in dieser Studie auch eine allgemeine Skepsis gegenüber der Politik: nur 37 % der Befragten waren der Meinung, dass die Behörden die Strahlenbelastung durch Mobilfunk sehr/eher gut kontrollieren. 32 % der Befragten waren der Meinung, dass die Sicherheitsvorkehrungen der Industrie in Bezug auf Strahlenbelastung durch Mobilfunk die Bürger sehr/eher gut schützen. Nur weniger als ein Fünftel der Befragten fühlten sich durch die Politiker in ihren Befürchtungen bzgl. der Strahlenbelastung durch Mobilfunk ernst genommen.

Die jährliche Befragung im Jahr 2005 ermittelte, dass Vertretern von Wissenschaft, Instituten oder Universitäten mit erheblichem Abstand die größte Kompetenz zum Thema „Mobilfunk und Gesundheit“ zugeschrieben wurde (von 78 % der Befragten). An zweiter Stelle rangierten die Medien, also Zeitungen, Radio und Fernsehen, und an

dritter Stelle folgten die eigentlichen Experten in Sachen Gesundheit, nämlich die Ärzte. Das Maß an zugeschriebener Kompetenz, das Ärzte in der Bevölkerung zum genannten Thema genießen, lag nur unwesentlich über den Resultaten für Bürgerinitiativen und Selbsthilfegruppen. Noch fast die Hälfte der Befragten hielt diese Einrichtungen für eher oder sehr kompetent im Zusammenhang mit „Mobilfunk und Gesundheit“.

Den Unternehmen der Mobilfunkbranche wurde noch von 46 % der Befragten Kompetenz auch bei den gesundheitlichen Aspekten des Mobilfunks zugeschrieben.

Vertretern des Staates und der Bundespolitik wurden ähnlich schlechte „Noten“ erteilt wie Stadt- oder Gemeindeverwaltungen, nur jeweils 28 % bzw. 26 % hielten dies Institutionen für sehr/eher kompetent. Dies mag wohl auch Ausdruck von Politikverdrossenheit und Politikerschelten gewesen sein. Trotzdem stimmt nachdenklich, wenn letztendlich nur dem einzelnen Bürger weniger Kompetenz zum angesprochenen Thema zugeschrieben wird als den Vertretern der Politik.

#### **IV.1.8 Fazit**

Die jährliche Befragungsreihe zur Wahrnehmung des Mobilfunks in der Bevölkerung zeigte eine hohe Konstanz über sämtliche Befragungsinhalte hinweg. Bezogen auf die Gesamtgesellschaft wies somit das Thema Mobilfunk eine stabile – und im Vergleich zu anderen möglichen Gesundheitsrisiken relativ geringe – Relevanz auf. In einzelnen gesellschaftlichen Gruppen hat die Thematik allerdings eine hohe Bedeutung. Personen, die gesundheitliche Beschwerden auf das Vorhandensein elektromagnetischer Felder zurückführen, unterschieden sich – mit Ausnahme eines höheren Bildungsniveaus – in ihren soziodemografischen Eigenschaften nicht von der allgemeinen Bevölkerung. Es wurde deutlich, dass „Strahlung“ nur bei einer kleinen Gruppe eine besondere Bedeutung im lebensweltlichen Kontext spielt, ebenso wie auch nur ein kleiner Anteil dieser Personengruppe die Bezeichnung "elektrosensibel" für sich selbst verwendet.

#### **IV.2 INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSMAßNAHMEN: ERFahrungen UND EMPFEHLUNGEN**

Informationsaufnahme und –verarbeitung ist grundsätzlich ein komplexer Vorgang. Verschiedene soziale, psychologische und kulturelle Faktoren (Werte, Vertrauen, Affekte, Emotionen, Wahrnehmungs- und Selektionsfilter, Heuristiken) wirken auf diesen Prozess ein und führen dazu, dass die Informationsaufnahme in verschiedenen Gruppen sehr unterschiedlich ist. So interessieren z. B. Informationen, die keinen Risikowert besitzen, nicht. Informationen von Gleichgesinnten werden im Allgemeinen positiver beurteilt als von anderen Akteuren. Nicht einstellungskonforme Elemente werden aufgrund des uns eigenen Wahrnehmungsfilters skeptisch beurteilt bzw. ggf. sogar zurück gewiesen.

Die subjektiv empfundene Glaubwürdigkeit des Materials und das Vertrauen in den Absender von Informationen sind zentrale Aspekte bei der Bewertung von Informationsmaterialien. Die Glaubwürdigkeit einer Botschaft steigt z. B., je klarer Argumente formuliert sind, und je eindeutiger und klarer Schlussfolgerungen gezogen werden. Relativierende Äußerungen vergrößern eher die Unsicherheit. Gewünscht werden eindeutige Aussagen, die Sicherheit, Verlässlichkeit und Orientierung bieten. Im Bereich Mobilfunk tragen nicht zuletzt die öffentlich ausgetragenen Widersprüche in der wissenschaftlichen Bewertung zu einer Verunsicherung bei den Bürgern bei. Sowohl die Höhe des Risikos als auch der Grad der eigenen gesundheitlichen Bedrohtheit scheint dem Bürger als noch wenig klar umrissen. Expertenmeinungen, die eigentlich das Potenzial haben, als Urteilsanker zu dienen, führen noch mehr zu Konfusion.

Im Rahmen des DMF befassten sich zwei Studien mit der Frage, wie Informations- und Kommunikationsmaßnahmen auf geeignete Zielgruppen ausgerichtet werden können, und welche gruppenspezifischen Eigenschaften dafür maßgeblich sind.

##### **IV.2.1 Zielgruppenspezifische Information über Mobilfunk und Gesundheit - Bildung von 5 Zielgruppen anhand einer Bottom Up Datenanalyse**

Im Rahmen der Bevölkerungsbefragung (Projekt „Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information“), die im Jahr 2004 durchgeführt wurde, wurde auf Basis der erhobenen Daten eine Clusteranalyse anhand der Merkmale Mobilfunknutzung, Informationsverhalten, Persönlichkeitsstruktur, allgemeine und mobilfunkspezifische Risikoeinstellung, Vertrauen in den Staat und Soziodemografie durchgeführt. Dabei wurden fünf typische Zielgruppen für Informations- und Kommunikationsmaßnahmen generiert. Für jede der Zielgruppen ergab sich jeweils ein Spektrum von Merkmalsausprägungen, welches sich von dem anderer Zielgruppen unterschied. Überlappungen zwischen den Gruppen sind möglich.

Zielgruppe 1: Sorglose interessierte Vielnutzer (23 % der Befragten). Diese Gruppe ist insgesamt sehr interessiert. Die Mitglieder halten die Diskussion um gesundheitliche Auswirkungen des Mobilfunks zwar für berechtigt, sie interessiert sie jedoch nicht mehr als andere aktuelle Themen. Diese Gruppe hat Vertrauen in den Staat und in

Politiker. Die Ansprache sollte eher mit reinem Faktenwissen erfolgen, das sie selbst interpretieren können, als mit Ratschlägen.

Zielgruppe 2: Besorgte informationsbedürftige Nutzer (17 %). Deren zurückhaltende Handynutzung lässt sich vor allem auf gesundheitliche Bedenken zurückführen. Diese Gruppe strebt ein hohes Informationsniveau an und hält weitere Informationen zu Mobilfunk und Gesundheit für sehr wichtig. Sie ist eher misstrauisch gegenüber Politikern, Behörden und der Industrie und insofern von offizieller Seite schwer zu erreichen.

Zielgruppe 3: Sorglose überforderte Wenignutzer (24 %). In dieser Gruppe, in der sich eher ältere Menschen befinden, gibt es die meisten Nichtnutzer. Die Gruppe zeigt das größte Desinteresse an dem Thema und hat geringe technische Kenntnisse. Die Gruppe hat zwar Vertrauen in den Staat, ist aber insgesamt eher informations- und bildungsfern und daher schwer zu erreichen.

Zielgruppe 4: Sorglose desinteressierte Vielnutzer (12 %). Typische Vertreter dieser Gruppe sind männliche Nutzer unter 21 Jahren, die besonders sorglos mit dem Mobilfunk umgehen. Sie verwenden ihr Mobiltelefon am häufigsten und verbinden damit in der Regel kein gesundheitliches Risiko. Sie sind zwar eher desinteressiert, weisen aber eine neutrale Einstellung gegenüber Behörden auf.

Zielgruppe 5: Mäßig besorgte Wenignutzer (24 %). Sie setzen ihr Handy nur in besonderen Situationen ein und stehen der Diskussion um gesundheitliche Folgen des Mobilfunks aufgeschlossen aber neutral gegenüber. Aufgrund der eher negativen Einstellung dieser Gruppe gegenüber dem Staat dürfte sich die Ansprache für staatliche Behörden schwierig gestalten.

#### **IV.2.2 Beschreibung der Informationsbedürfnisse gegenüber Mobilfunk besorgter, unsicherer oder unbesorgter Personen**

In einer weiteren Studie („Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen“) wurden die unterschiedlichen Sichtweisen von drei Gruppen ermittelt, die anhand ihrer unterschiedlichen Voreinstellungen zum Untersuchungsgegenstand „Mobilfunkstrahlung“ in Anlehnung an das Verfahren von Wiedemann und Schütz (2002) eingeteilt wurden.

##### Beschreibung der Gruppen:

Für Unbesorgte ist die Mobilfunkstrahlung im Vergleich zu anderen gesellschaftlichen und persönlichen Gefahren vernachlässigbar. Eine persönliche Betroffenheit fehlt. Ihre Informationen zum Thema EMF und Mobilfunk haben sie überwiegend durch passive Informationsgewinnung aus den klassischen Massenmedien. Den Mobilfunkgegnern wird Panikmache und Hysterie unterstellt.

Die Unsicheren sind vor allem auf Grund mangelnder Kenntnisse über die möglichen Gefahren der Mobilfunkstrahlung verunsichert. Auch hier dominiert die passive Informationsgewinnung. Besonders kritisch findet diese Subgruppe, dass die Wissenschaft keine klaren und verlässlichen Aussagen machen kann.

Bei den Besorgten führen die persönliche Betroffenheit oder latente Ängste zu Besorgnis. Wissenschaftlichen Erkenntnissen gegenüber sind sie skeptisch eingestellt. Im Rahmen passiver und aktiver Informationsgewinnung nutzen die Besorgten ein breites Angebot an Informationsquellen. Der Politik wird vorgeworfen, dass sie beschwichtigt, verharmlost und versucht, sich abzusichern. Die Mobilfunknetzbetreiber werden stigmatisiert. Im Allgemeinen tendieren die Besorgten zu negativeren Bewertungen der Akteure.

Die Studie zeigte, dass Informationen der organisierten Mobilfunkgegner aufgrund ihrer einseitigen, emotionalen und unglaubwürdigen Überzeichnung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks skeptisch wahrgenommen werden – und zwar auch von den „besorgten“ Bürgern. Der Wissenschaft standen die Bürger ambivalent gegenüber. Einerseits wurden die präsentierten Informationen eher als sachlich und glaubwürdig wahrgenommen. Andererseits wurde der Beitrag zur eigenen Urteilsbildung als recht gering eingestuft. Klare Aussagen und eindeutige Handlungsalternativen waren gewünscht. Dem gut und verständlich aufgemachten Material der Mobilfunkindustrie haftet das Manko der geringen Glaubwürdigkeit und Interessengebundenheit an.

Als Ergebnis wurde in dieser Studie vorgeschlagen, Informationsangebote anhand einer gut abgestimmten Mischung aus Informationsinhalten, Kanälen und Vermittlungsformen aufzustellen. Dabei sollten sich Informationsangebote zwischen folgenden Ausrichtungen bewegen:

An dem einen Ende befindet sich die allgemeine, unbesorgte Öffentlichkeit als Adressat für Informationen. Diese breite Masse fühlt sich zumeist nicht direkt betroffen und hat ein nur geringes Interesse an der EMF-Problematik. Informationen werden zwar aufgenommen, jedoch nur beiläufig. Sie müssen deshalb kurz, klar und prägnant formuliert sein. Detaillierte Informationen werden nicht wahrgenommen. Geeignet sind hier Mitteilungen in Nachrichtenform über die klassischen Kommunikationsmedien, Produktinformationen und eindeutige Symbole (wie z. B. der blaue Engel).

An dem anderen Ende befinden sich besorgte und emotional von der Thematik angesprochene Personen. Dies macht sie empfänglich für detaillierte Informationen, sowohl über gesundheitliche Auswirkungen von EMF als auch die Funktionsweise der Mobilfunktechnologie. Vertrauen und Glaubwürdigkeit (und Misstrauen gegenüber Staat, Wissenschaft und Politik) spielen in dieser Gruppe eine wesentlich wichtigere Rolle als in den anderen Gruppen. Die Schwerpunkte müssen auf Information und Einbeziehung liegen, um die Bereitschaft zur Informationsaufnahme zu erhöhen. Geeignete Informationswege sind z. B. Internet, Broschüren und dialogorientierte Maßnahmen (z. B. Runde Tische).

Dazwischen befinden sich mehr oder weniger interessierte Bevölkerungsteile, die über verschiedene Kanäle angesprochen werden können. Informationen müssen in ausgewogener, einfacher Form aufbereitet werden. Je nach konkreter Zielgruppe (z. B. Eltern, Wenigtelefonierer, Kinder und Jugendliche) ist die Verwendung gebräuchlicher Alltagsbegriffe zu empfehlen. Geeignete Wege sind Massenmedien und Produktinformationen, aber auch Informationen über den Unterricht.

### **IV.2.3 Fazit**

Trotz der unterschiedlichen Herangehensweise dieser beiden Studien wird deutlich, dass Informationsmaßnahmen gezielt auf unterschiedliche Kombinationen von Eigenschaften verschiedener Gruppen ausgerichtet sein müssen. Dabei ist im Vorfeld zu überlegen, welche konkrete Zielgruppe mit Informationsmaßnahmen angesprochen werden soll, die Informationen sind entsprechend zu gestalten. Zu berücksichtigen sind z. B. die jeweilige Kombination aus bevorzugtem Informationsverhalten bzw. Informationsmedium der zu erreichenden Gruppe, die spezifische Wahrnehmung und emotionale Bedeutung des Themas, das konkrete Informationsbedürfnis, etc. Zu berücksichtigen ist auch, inwieweit eine Personengruppe grundsätzlich Vertrauen in den Absender hat, d.h. offen ist gegenüber seinen Informationen. Entsprechend sind ggf. Informationsmaßnahmen durch andere Maßnahmen zur Erhöhung Transparenz und der Bekanntheit des Absenders und zur Stärkung des Vertrauens zu begleiten.

## **IV.3 RISIKOKOMMUNIKATION AUF DER LOKALEN EBENE BEI DER STANDORTWAHL FÜR MOBILFUNKSENDEANLAGEN**

Mit der Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber von Dezember 2001 wurde der Rahmen für die Abstimmung und Kommunikation zwischen Kommunen und Netzbetreibern und die Information der Bürger beim Standortwahlverfahren festgelegt. Zur Überprüfung der Umsetzung der Selbstverpflichtung wurden von den Netzbetreibern 2002 bis 2008 jährliche Gutachten in Auftrag gegeben, die Fortschritte in Kommunikation und Kooperation, sowie weiterhin bestehende Konfliktursachen erfassen sollten. Die jährlichen Gutachten stellten fest, dass die Selbstverpflichtung von Beginn an einen Beitrag zur Verbesserung der Kooperation und Kommunikation zwischen Kommunen und Netzbetreibern leisten konnte. Trotz dieser Verbesserungen waren jedoch weiterhin zahlreiche Konfliktfälle in den untersuchten Kommunen zu verzeichnen. Als zentrale Gründe wurden Probleme im Informationsfluss zwischen Netzbetreibern und Kommune identifiziert, mangelndes Wissen bei den Kommunen über die Hintergründe und das Verfahren der Netzplanung, und nicht zuletzt die anspruchsvolle Kommunikation mit dem Bürger.

Die hierzu im Rahmen des DMF durchgeführten Forschungsprojekte setzen an diesem Punkt an. Auf Seiten der Kommunen und in der Kommunikation mit den Netzbetreibern wurden Wissensdefizite und Hemmnisse, und entsprechende Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert und in Form eines internetbasierten, öffentlich zugänglichen Ratgebers aufbereitet. Die Kommunen sollten dadurch in ihrer Risikokommunikation mit dem Bürger vor Ort unterstützt werden.

### **IV.3.1 Nutzung bisheriger kommunaler Erfahrungen**

Eine Möglichkeit, schwierige Schlüsselfaktoren und entscheidende Kompetenzen zur verbesserten Kooperation bei der Standortbestimmung herauszufinden besteht darin, auf kommunale Erfahrungen mit Aus- und Verhandlungsprozessen zurückzugreifen, die in anderen Bereichen in ähnlicher Weise bereits gesammelt wurden. Als geeignetes Beispiel wurde die Evaluation praxisrelevanter Erfahrungen und Potenziale aus dem Prozess der lokalen Agenda 21 gesehen.

#### Zum Hintergrund der Lokalen Agenda 21

Im Kap. 28 der Agenda 21, dem Abschlussdokument der Konferenz „Umwelt und Entwicklung“ der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro, wurden alle Kommunen und Unterzeichnerländer aufgefordert, auch auf ihrer Ebene ein an Nachhaltigkeit orientiertes Handlungsprogramm aufzustellen. Im Nachgang der Konferenz von Rio wurden die Umsetzungsmöglichkeiten für die Lokale Agenda 21 konkretisiert und Leitlinien zu deren Gestaltung erarbeitet. In Deutschland haben bis zum Jahr 2005 mehr als 3.500 Kommunen einen Agenda-Beschluss gefasst. In zahlreichen Städten wurden Agenda-Beauftragte für die Umsetzung der Lokalen Agenda 21 eingestellt. Dabei wurde viel Zeit und Energie in den Aufbau von Arbeitsstrukturen, Kommunikationsflüssen und Kooperation und

Vernetzung der verschiedenen beteiligten Akteure investiert, bevor die erforderliche Zusammenarbeit über die Bereiche hinweg und damit die Projekte zur Agenda 21 realisiert werden konnten.

Die Umsetzung der lokalen Agenda 21 spielt also – ähnlich dem Mobilfunk – flächendeckend in ganz Deutschland eine wichtige Rolle auf der kommunalen Ebene und fordert ebenfalls eine umfangreiche Einbeziehung der verschiedensten betroffenen Akteure.

Im Rahmen eines entsprechenden Projektes („Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21“) wurde anhand von Kommunen, die komplexe Mobilfunk-Dialogstrukturen und Agenda 21-Erfahrungen aufwiesen, untersucht, inwieweit deren Strukturen und Erfahrungen für die Kooperation der Mobilfunk-Beteiligten auf der kommunalen Ebene, wie z. B. Kommunen, Netzbetreiber, Bürger, Bürgerinitiativen, usw. abgeleitet werden können.

### Ergebnis

Konkret ist die Übertragbarkeit der Erfahrungen auf verschiedenen Ebenen des Prozessmanagements möglich: Die betrifft zum einen die Rahmenbedingungen, also den Aufbau und die Organisation von Strukturen für den Dialogprozess und die Organisation der Arbeit in diesen Strukturen. Zum anderen betrifft es die konkrete Gestaltung des Dialog- und Kommunikationsprozesses, wie z. B. die Zusammensetzung von Runden Tischen, Spielregeln für den Dialog, Rollenklärung, Abstimmungs- und Entscheidungsverfahren, die Entwicklung von Lösungen wie auch das Hinführen zu einem Konsens.

Vorhandene Agenda-21-Strukturen können von der Kommune genutzt werden, um Zugang zu wichtigen gesellschaftlichen Gruppen und Akteuren zu erhalten, die im Mobilfunk-Dialog eine Rolle spielen. Agenda Strukturen sind hilfreich als Informationsstelle für die Öffentlichkeit und zur Durchführung von Informationsveranstaltungen. Aber auch ohne einen lokalen-Agenda-21-Prozess in der Kommune zeigen die folgenden Empfehlungen die Potenziale und Handlungsmöglichkeiten auf Seiten der Kommunen auf:

Den Kommunen wurde empfohlen, aktiver (Mit-) Gestalter des Prozesses zu sein. Gleich zu Beginn eines Verfahrens sollte eine direkte Verbindung zwischen dem kommunalen Verwaltungsmitarbeiter und dem regionalen Betreibervertreter aufgebaut werden. Ansprechpartner der Kommunen sollten stets auskunftsfähig gegenüber ihren Bürgern sein. Die Kommunen können so ihren Beitrag leisten, dass im Sinne einer guten Risikokommunikation Informationen stets verfügbar, zuverlässig und nachvollziehbar sind. Glaubwürdigkeit und Vertrauen der Bürger in die kommunale Vorgehensweise kann so verbessert werden.

Wichtig ist, auf beteiligte Akteure, gesellschaftliche Gruppen und Bürger zuzugehen und frühzeitig Informationen bereitzustellen und auszutauschen. Zentrale Bausteine sind der Aufbau einer Vertrauensbasis, ein sachlicher und fairer Umgang und die Organisation und Steuerung von Dialogverfahren. Dabei ist es hilfreich, die Vorbereitung eines Dialogverfahrens, den Dialog und die Entscheidungsfindung, sowie die Konfliktbearbeitung getrennt zu betrachten. Die dafür jeweils erforderlichen Aufgaben, involvierten Akteure, Handlungsbausteine und Ziele sind zu definieren und miteinander zu kommunizieren, um u. a. die Erwartungen der Mobilfunk-Akteure an ein Dialogverfahren auf eine realistische Grundlage zu stellen.

Wichtig ist die laufende Abstimmung zwischen den verschiedenen beteiligten kommunalen Stellen.

Dialogverfahren haben neben dem Konflikt um einen Standort auch die Rollen, Interessen und Meinungen der beteiligten Akteure zum Gegenstand. Kommunen sind gefordert, für die Steuerung des Dialogverfahrens in Abstimmung mit den Mobilfunk-Akteuren die nötigen sozialen und kommunikativen Kompetenzen aufzubauen. Alle Dialogpartner sind als gleichwertige lokale Akteure anzuerkennen und die jeweiligen Interessen und Anliegen Ernst zu nehmen. Dies bezieht sich auch auf eine bewusste Einbeziehung der lokalen Presse.

Runde Tische wurden als geeignet beschrieben, um die Kommunikation zwischen der Kommunalverwaltung und Bürgerinitiativen zu verbessern. Allerdings erfordern sie eine sorgfältige Vorbereitung mit definierten Aufgaben, Kompetenzen und Zielsetzungen und sind mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Alle relevanten Gruppen sollten einen Vertreter zur Teilnahme an einem Runden Tisch entsenden können. Leiter von Runden Tischen sollten möglichst neutrale Personen, wie z. B. der Bürgermeister oder Moderationsagenturen, sein. Auf kommunaler Ebene sind Diskussionen um konkrete Standorte stets von übergreifenden Themen zu trennen. Die Kommune muss deutlich vermitteln, dass sie auf die Grenzwertsetzung keinen Einfluss hat. Über gesundheitliche Aspekte sollte nur unter Hinzuziehung eines entsprechenden Experten diskutiert werden.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass von der Durchführung von Bürger- Informationsveranstaltungen im Bereich Mobilfunk abgeraten wird. Derartige Veranstaltungen werden meistens für das reine Darstellen von Meinungen und als Möglichkeit zur Polarisierung genutzt. Eine sorgfältige Vorbereitung und ausgewogene Gestaltung mit einem neutralen und kompetenten Moderator ist unabdingbare Voraussetzung, aber bei weitem kein Garant dafür, dass es zu einer Veranstaltung mit Informationsaustausch im eigentlichen Sinne kommt. Zur Information der Bürger hat die Kommune z. B. die Möglichkeit, in ihren Internetseiten oder

gedruckten Gemeindeinformationen frühzeitig Informationen anzubieten, und einen Ansprechpartner zu benennen (und diesen offensiv zu kommunizieren), der für Fragen zum Mobilfunk zuständig ist.

### **IV.3.2 Aufbereitung der Erkenntnisse in Form eines Ratgebers für Kommunen**

Die bisherigen Probleme in der Kommunikation sowie deren Ursachen, die bei der Standortwahl von Mobilfunksendeanlagen auf kommunaler Ebene entstehen, wurden im Rahmen eines weiteren Projektes („Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen“) untersucht und Vorschläge für deren Lösung erstellt. Diese Vorschläge wurden in Form eines allgemein zugänglichen Online-Ratgebers aufbereitet ([www.ratgeber-mobilfunk.de](http://www.ratgeber-mobilfunk.de)).

Zur Vorbereitung des Ratgebers wurden bereits vorhandene Leitfäden zur Vorgehensweise bei der Standortplanung gesichtet (Australian Communications Industry Forum 2004; Kastenholz und Benighaus 2003; Kemp und Greulich 2004; Ulmer *et al.* 2005; Wiedemann *et al.* 2001). Deren Inhalte, Zielgruppe, Einsatzbereich und bisherige Erfahrungen wurden bei der Erstellung des neuen Ratgebers berücksichtigt. Im Sinne einer einfachen Orientierung für die kommunalen Vertreter war das ursprüngliche Ziel des Projektes, auf Basis des kumulativen 3-Stufen-Modells Standortkonflikte drei Konfliktstufen zuzuordnen, inspiriert durch das „Traffic Light Rating Modell“, das in England Anwendung findet. Für die Beschreibung der Konfliktstärke wurden die Stufen grün = schwach; gelb = mittel, rot = stark gewählt. Für jede der drei Stufen sollten charakteristische Aspekte der Konflikte und involvierten Parteien festgestellt werden, und auf Basis dessen entsprechende Handlungsempfehlungen gegeben werden. Aufgrund der Komplexität von Konflikten und Konfliktursachen erwies es sich jedoch als angemessen, zunächst für einzelne Aspekte spezifische Handlungsoptionen aufzuzeigen. Die Überlegungen mündeten in der „Selbstdiagnose“, dem zentralen Bestandteil des Ratgebers. Diese besteht aus einer Multiple Choice-Abfrage mit 16 Fragen zu Gemeindegröße, bisherige Standortstrategie der Kommune, bisherige Standorte der Sendeanlagen insgesamt, bisherige Informations- und Kooperationserfahrungen mit den Mobilfunknetzbetreibern, Proteste und Umgang mit Konflikten. Zu jeder beantworteten Frage erscheinen situationsspezifische Handlungsempfehlungen. Um dem Benutzer außerdem Empfehlungen anzubieten, die sich auf die Gesamtsituation in der Kommune beziehen, erscheint nach Beantwortung aller Fragen ein zusammenfassender Text, der auf einer Einordnung in das Ampelmodell zur Beschreibung der Konfliktstärke beruht und übergreifende Handlungsanweisungen zur Konfliktprävention oder -lösung enthält.

Des Weiteren enthält der Ratgeber allgemeine Empfehlungen und Hintergrundwissen zu den Themen Standortplanung, Mobilfunk und Gesundheit, Risikokommunikation, Mobilfunktechnik, rechtliche Grundlagen und Konfliktschlichtung. Die Inhalte sind auf die Informationsdefizite und -wünsche der kommunalen Mobilfunkbeauftragten ausgerichtet, die im Laufe dieses Projektes erhoben wurden bzw. zum Teil bereits aus anderen Studien bekannt waren.

Der modulartige Aufbau des Online-Ratgebers bietet gezielte Information und leichte Orientierung für den Anwender. Die Texte sind möglichst kurz gehalten und mit weiterführenden Hinweisen versehen. Der Ratgeber ist aufgrund des problemlosen internetbasierten Zugangs und der Möglichkeit einer gezielten Auswahl bestimmter Texte sehr benutzerorientiert.

### **IV.3.3 Fazit**

Die Kommunikation auf der lokalen Ebene ist eine der zentralen Möglichkeiten, mit besorgten oder informationsbedürftigen Bürgern in Kontakt zu treten. Den Kommunen bzw. kommunalen Vertretern kommt dabei als direkte Ansprechpartner der Bürger eine zentrale Rolle zu, durch transparente und rechtzeitige Informationen eine vertrauensvolle Anlaufstelle für Fragen zum Mobilfunk zu sein. Sowohl für die Kommunikation mit den Bürgern, als auch für die Verbesserung des Dialogs mit den weiteren Mobilfunkakteuren vor Ort (z. B. Netzbetreiber, Bürgerinitiativen etc.) sind Kommunen gefordert, die nötigen sozialen und kommunikativen Kompetenzen aufzubauen. Wichtig ist, dass die vorhandenen Empfehlungen für geeignete kommunale Vorgehensweisen zur (Risiko -)Kommunikation, sowie für angemessene Möglichkeiten zur Konfliktprävention und Konfliktlösung besser an die Kommunen vermittelt werden.

Der entwickelte Mobilfunk-Ratgeber Kommunen unterstützt die Kommunen dabei, im Rahmen der Standortplanung potenzielle Konflikte zu vermeiden bzw. entstandene Konflikte zu lösen. Im Mittelpunkt steht dabei die angemessene und rechtzeitige Information zwischen Betreibern, Kommunen und Bürgern. Damit soll gewährleistet werden, dass die Information der Bürger auch in Konfliktsituationen gewahrt bzw. verbessert wird.

## **IV.4 INTERNETINFORMATIONSSYSTEM EMF-PORTAL**

Als spezielles Informationsangebot zu verschiedenen Fragestellungen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern wurde das Internet-Informationssystem EMF-Portal ([www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de)) eingerichtet, um interessensunabhängige, verständliche, wissenschaftliche Informationen für verschiedene Stakeholder, Wissenschaftler, Entscheidungsträger und wissenschaftliche Laien zur Verfügung zu stellen (Beteiligung im Rahmen des Projektes „Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen

elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate“). Das internetbasierte und offen zugängliche System bietet eine Datenbasis von derzeit über 11.000 Publikationen (Februar 2008) vorwiegend aus peer reviewed wissenschaftlichen Journalen. Ein Hauptmerkmal ist die verständliche Aufbereitung von experimentellen medizinischen, biologischen und epidemiologischen Untersuchungen mit Angabe der Zielsetzung, relevanten Untersuchungsparameter und Ergebnissen bzw. Schlussfolgerungen der Studie lt. Autor. Derartige Zusammenfassungen werden laufend für aktuelle wissenschaftliche Publikationen erstellt. Dabei werden nur Angaben der Autoren übernommen, eine Bewertung erfolgt nicht. Die Datenbank der Veröffentlichungen wird kontinuierlich aktualisiert und erweitert. Verschiedene Hilfestellungen unterstützen die Suche und Interpretation der gefundenen Studien, wie z. B. ein interdisziplinäres Glossar, eine Datenbank der im Alltag auftretenden elektromagnetischen Felder sowie Informationen zu physikalischen Grundlagen und biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder.

Das EMF-Portal wurde im Juli 2005 in Betrieb genommen, im August 2006 waren bereits 1 Million Besucher registriert. Ende 2007 waren ca. 13.000 Zugriffe pro Monat verzeichnet worden. Die größte Nutzergruppe des EMF-Portals sind berufliche Nutzer, gefolgt von Wissenschaftlern und informierten Laien.

Das EMF-Portal ist mehrsprachig angelegt: Informationen auf deutsch und englisch werden kontinuierlich gepflegt. Die Weiterentwicklung des EMF-Portals wird neben der ständigen Aktualisierung der wissenschaftlichen Artikel und der weiteren Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit in der Ergänzung durch weitere Sprachen sowie in verstärkten internationalen Kooperationen liegen.

Das EMF-Portal wird insbesondere von den beruflichen Nutzern mit einem gewissen Hintergrundwissen als sehr hilfreich angesehen, da es einen schnellen Überblick über den aktuellen Stand neuer wissenschaftlicher Publikationen ermöglicht. Für Laien ist ohne eine fachliche Bewertung der tatsächliche Nutzen begrenzt, da sich ihm die Bedeutung von Studienergebnissen ohne Hilfestellung kaum erschließt. Diesbezüglich ist eine Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit vor allem für interessierte Laien wünschenswert.

## ANHANG 2 (ANNEX 2)

### LITERATUR (BIBLIOGRAPHY)

- Adair RK (2001) Simple neural networks for the amplification and utilization of small changes in neuron firing rates. *Proc Natl Acad Sci U S A* 98(13):7253-7258
- Ahlbom A, Green A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environ Health Perspect* 2004; 112:1741-1754
- Al-Khlaiwi T, Meo SA (2004) Association of mobile phone radiation with fatigue, headache, dizziness, tension and sleep disturbance in Saudi population. *Saudi. Med. J.* 25(6):732-736
- Arai N, Enomoto H, Okabe S, Yuasa K, Kamimura Y, Ugawa Y (2003) Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways. *Clin. Neurophysiol.* 114(8):1390-4
- Aran JM, Carrere N, Chalan Y (2004) Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: *in vivo* and *in vitro* experimental studies. *Int. J. Audiol.* 43(9):545-554
- Armstrong B, Theriault G, Guenel P, Deadman J, Goldberg M, Heroux P. *et al.* (1994) Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France. *Am. J. Epidemiol.* 140:805-820
- Australian Communications Industry Forum (2004) Industry Code – Deployment of Mobile Phone Network Infrastructure (ACIF C564:2004). North Sydney: The Australian Communications Industry Forum.
- Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS (2002). Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 13:356-359
- Bak M, Sliwiska-Kowalska M, Zmysolny M, Dudarewicz A (2003) No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 163(3):201-208
- Berg G, Schüz J, Samkange-Zeeb F, Blettner M (2005). Assessment for radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study: German validation study of the international case-control study of cancers of the brain: INTERPHONE study. *J. Exptl. Environ. Epidemiol.* 15: 217-24; 2005.
- Berg G, Spallek J, Schlehofer B, Böhler E, Schläefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M (2006) Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. *Am. J. Epidemiol* 164: 538-48; 2006.
- Berg G., Breckenkamp J, Blettner M (2003). Gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter Strahlenexposition. *Dt. Ärzteblatt: Heft 42: A 2738; 2003*
- Bergqvist U, Vogel E, Aringer L, Cunningham J, Gobba F, Leitgeb N, Miro L, Neubauer G, Ruppe I, Vecchia P, Wadman C (1997) Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. A report prepared by a European group of experts for the European Commission, DG V. Solna, Sweden: National Institute for Working Life.
- Blettner M, Schlehofer B, Samkange-Zeeb F, Berg G, Schläefer K, Schüz J (2007). Medical exposure to ionising radiation and the risk of brain tumours: Interphone study group, Germany. *Eur. J. Cancer* 2007; 43:1990-8.
- Borbély AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P (1999) Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neuroscience Letters* 275:207-210.
- Bornhausen M, Scheingraber H (2000) Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats. *Bioelectromagnetics* 21:566-574
- Büllingen, F., Hillebrand, A., Wörter, M. (2002) Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt (EMVU) in der öffentlichen Diskussion – Situationsanalyse, Erarbeitung und Bewertung von Strategien unter Berücksichtigung der UMTS-Technologien im Dialog mit dem Bürger. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Bad Honnef
- Butefisch CM, Davis BC, Wise SP, Sawaki L, Kopylev L, Classen J, Leonardo G, Cohen LG (2000). Mechanisms of use-dependent plasticity in the human motor cortex. *Pro Natl Acad Sci USA* 97(7): 3661-3665.
- Cardis E, Richardson L, Deltour I, Armstrong B, Feychting M, Johanson C, Kilkeny M, McKinney P, *et al.* (2007) The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. *Eur. J. Epidemiol.* 22: 647-64; 2007

- Cassel JC, Cosquer B, Galani R, Kuster N (2004) Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial-maze performance in rats, *Behav Brain Res* 155 (1):37-43
- Chauhan V, Mariampillai A, Kutzner BC, Wilkins RC, Ferrarotto C, Bellier PV, Marro L, Gajda GB, Lemay E, Thansandote A, McNamee JP (2007) Evaluating the biological effects of intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency fields in a series of human-derived cell lines. *Radiat. Res.* 167(1):87-93
- Chia SE, Chia HP, Tan JS (2000). Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: a community study. *Environ. Health Perspect.* 108:1059-1062; 2000.
- Christensen HC, Schuz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Thomsen J, Johansen C (2004) Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am. J. Epidemiol.* 159:277-283.
- Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Johansen C (2005). Cellular telephones and risk for brain tumours: a population-based, incident case-control study. *Neurology* 64: 1189-95, 2005
- Cobb BL, Jauchem JR, Adair ER (2004) Radial arm maze performance of rats following repeated low level microwave radiation exposure. *Bioelectromagnetics.* 25 (1): 49-57
- Cosquer B, Kuster N, Cassel JC (2005) Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter 12-arm radial-maze with reduced access to spatial cues in rats, *Behav Brain Res* 161(2):331-334
- Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, Wood AW, McKenzie RJ, Stough C (2008) The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 29(1):1-10
- Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L, Cristiani R, D'Inze, G, Bertini M (2004) Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature. *NeuroReport* 15(1):161-164
- Curcio G, Ferrara M, Moroni F, D'Inzeo G, Bertini M, De Gennaro L. (2005) Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci Res.* 53(3):265-270
- Czyz J, Guan K, Zeng Q, Nikolova T, Meister A, Schönborn F, Schuderer J, Kuster N, Wobus AM (2004) High Frequency Electromagnetic Fields (GSM Signals) Affect Gene Expression Levels in Tumor Suppressor p53-Deficient Embryonic Stem Cells. *Bioelectromagnetics* 25 (4):296-307
- Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Yilmaz F, Basham M, Dasdag AA, Celik MS (2003) Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect testes. *Bioelectromagnetics* 24:182-188
- Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Yegin D (2008) Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. *Arch. Med. Res.* 39(1):40-44
- Dasdag S, Ketani MA, Akdag Z, Ersay AR, Sari I, Demirtas ÖC, Celik MS (1999) Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urological Research* 27:219-223
- Davidson HC, Lutman ME (2007) Survey of mobile phone use and their chronic effects on the hearing of a student population. *Int J Audiol.* 46(3):113-118
- Dawe AS, Nylund R, Leszczynski D, Kuster N, Reader T, De Pomerai DI (2008) Continuous wave and simulated GSM exposure at 1.8 W/kg and 1.8 GHz do not induce hsp16-1 heat-shock gene expression in *Caenorhabditis elegans*. *Bioelectromagnetics* 29(2):92-99
- Dawe AS, Smith B, Thomas DWP, Greedy S, Vasic N, Gregory A, Loader B, de Pomerai DI (2006) A small temperature rise may contribute towards the apparent induction by microwaves of heat-shock gene expression in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Bioelectromagnetics* 27(2):88-97
- de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil M, Thomas D, Sewell P, Tatterstall J, Jones D, Candido P (2000) Non-thermal heat-shock response to microwaves. *Nature* 405:417-418
- de Pomerai DI, Smith B, Dawe A, North K, Smith T, Archer DB, Duce IR, Jones D, Candido PM (2003) Microwave radiation can alter protein conformation without bulk heating. *FEBS Letters* 543(1-3):93-07
- Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rudiger H (2005) Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells *in vitro*. *Mutat Res. Gen. Tox. & Environ. Mutag.* 583 (2):178–183
- Dolk H, Elliott P, Shaddick G, Walls P, Thakrar B (1997b) *et al.* Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.* 1997b; 145:10-7.
- Dolk H, Shaddick G, Walls P, Grundy C, Thakrar B, Kleinschmidt I, *et al.* (1997a) Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I Sutton Coldfield transmitter. *Am. J. Epidemiol.* 1997a; 145: 1-9.
- Dubreuil D, Jay T, Edeline J-M (2003) Head-only exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields does not alter rat's memory in spatial and non-spatial tasks. *Behav. Brain. Res.* 145: 51-61

- Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ (1999). Cause-specific mortality in cellular telephone uses. *JAMA* 282:1814-1816.
- Elder JA (2003) Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics* 26(S6): S148-161
- Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Mirshekar-Syahkal D, Rasor P, Deeble R, Fox E (2007) Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study. *Environ Health Perspect*; 115(11): 1603 – 1608
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T (1998) Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *NeuroReport* 9(14):3229-3232
- Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, De Gennaro L, Fini R, Rossini PM (2006) Mobile phone emissions and human brain excitability. *Ann Neurol*; 60(2): 188 – 196
- Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, Manavis J, Kuchel TR (2006) Effect of mobile telephony on blood-brain barrier permeability in the fetal mouse brain. *Pathology* 38 (1):1-3
- Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, Manavis J, Kuchel TR (2008) Neonatal mouse brain exposure to mobile telephony and effect on blood-brain barrier permeability. *Pathology* 38 (3): 262-263
- Foster KR, Glaser R (2007) Thermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems with relevance to exposure guidelines. *Health Phys.* 92(6):609-620
- Franke H, Ringelstein EB, Stogbauer F (2005a) Electromagnetic fields (GSM 1800) do not alter blood-brain barrier permeability to sucrose in models *in vitro* with high barrier tightness. *Bioelectromagnetics* 26 (7) 529 – 535
- Franke H, Streckert J, Bitz A, Goeke J, Hansen V, Ringelstein EB, Nattkamper H, Galla H-J, Stogbauer F (2005b) Effects of Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Electromagnetic Fields on the Blood-Brain Barrier *In vitro*. *Radiat Res.* 164 (3):258-269
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I (2000) Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *European Journal of Applied Physiology* 81:18-27.
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I (1998) Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 19:384-387.
- Frick U, Mayer M, Hauser S, Binder H, Rosner R, Eichhammer P (2006) Entwicklung eines deutschsprachigen Messinstrumentes für "Elektromog-Beschwerden". *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 11(2): 103-113.
- Fritze K, Sommer C, Schmitz B, Mies G, Hossmann KA, Kiessling M, Wiessner C. (1997) Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathol (Berl)*. 94(5):465 – 470
- Fritzer G, Goder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze-Selch D Aldenhoff JB (2007) Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects. *Bioelectromagnetics* 28(4):316-25.
- Galloni P, Lovisolò GA, Mancini S, Parazzini M, Pinto R, Piscitelli M, Ravazzani P, Marino C (2005a) Effects of 900 MHz electromagnetic fields exposure on cochlear cells' functionality in rats: Evaluation of distortion product otoacoustic emissions. *Bioelectromagnetics* 26(7):536–547
- Galloni P, Parazzini M, Piscitelli M, Pinto R, Lovisolò GA, Tognola G, Marino C, Ravazzani P (2005b) Electromagnetic Fields from Mobile Phones do not Affect the Inner Auditory System of Sprague-Dawley Rats. *Radiat Res.* 164(6):798–804
- Gandhi OP, Lazzi G, Furse CM (1996) Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 44(10):1884-1897
- Garland FC, Shaw E, Gorham ED, Garland CF, White MR, Sinsheimer PJ (1990) *et al.* 1990 Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am. J. Epidemiol.* 132: 293-303.
- Grayson JK *et al.* (1996) Radiation exposure, socioeconomic status, brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study. *Am. J. Epidemiol.* 143: 480-486.
- Groves FD, Page WF, Gridley G, Lisimaque L, Stewart PA, Tarone RE *et al.* (2002) Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. *Am. J. Epidemiol.* 155: 810-818.
- Ha M, Im H, Lee M, Kim HJ, Kim B-C, Gimm Y-M, Pack J-K (2007). Radio-Frequency radiation exposure from AM Radio Transmitters and childhood leukaemia and brain cancer. *Am. J. Epidemiol.* 166:270-279 ;

- Ha M, Im H, Kim B-C, Gimm Y-M, Pack J-K (2008). Re: Radio-Frequency radiation exposure from AM Radio Transmitters and childhood leukaemia and brain cancer (Letter to the Editor) *Am. J. Epidemiol.* Online: DOI: 10.1093/aje/kwn013
- Haarala C, Bergman M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H (2005) Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function. *Bioelectromagnetics* 26(S7): S144-S150
- Haarala Ch, Björnberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H (2003) Effect of a 902 MHz Electromagnetic field emitted by mobile phone on human cognitive function: a replication study. *Bioelectromagnetics* 24(4):283-288
- Haarala Ch, Ek M, Björnberg L, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H (2004) 902 MHz Mobile Phone Does not Affect Short Term Memory in Humans. *Bioelectromagnetics* 25(6):452-456
- Hamblin DL, Croft RJ, Wood AW, Stough C Spong J (2006) The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 27(4):265-273
- Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C (2004) Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clin. Neurophysiol.* 115(1):171-178
- Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hansson Mild KL (1999) Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study. *Int. J. Oncol.* 15:113-116.
- Hardell L, Mild KH, Carlberg M (2002). Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int. J. Radiat. Biol.* 78: 931-936.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K (2006a). Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk for benign brain tumours diagnosed during 1997-2003. *Int. J. Oncology* 28:509-18, 2006a
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K (2006b). Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed during 1997-2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 79: 630-9; 2006b
- Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, Swerdlow AJ, van Tongeren MJA, McKinney PA (2006). Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ* 332:883-887; 2006
- Hietanen M, Kovala T, Hämäläinen AM (2000) Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand. J. Work. Environ. Health* 26(2):87-92
- Hillert L, Akerstedt T, Lowden A, Wiholm C, Kuster N, Ebert S, Boutry C, Moffat SD, Berg M, Arnetz BB (2007) The effects of 884 MHz GSM wireless communication signals on headache and other symptoms: An experimental provocation study. *Bioelectromagnetics* DOI 10.1002/bem.20379
- Hinrichs H, Heinze HJ (2006) High frequency GSM-1800 fields with various modulations and field strengths: No short term effect on human awake EEG. Edition Wissenschaft, Forschungsgemeinschaft Funk
- Hinrichs H, HJ Heinze and M Rotte (2005) Human sleep under the influence of a GSM 1800 electromagnetic farfield. *Somnologie* 9:185-191
- Hocking B, Gordon IR, Grain HL, Hatfield EGet al (1996). Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Aust.* 1996; 165:601-5.
- Hondou, T. (2002). "Rising Level of Public Exposure to Mobile Phones Accumulation through Additivity and Reflectivity." *Journal of the Physical Society of Japan* 71(2).
- Hours M, Bernard M, Montestrucq L, Arslan M, Bergeret A, Deltour I, Cardis E (2007) Cell phones and risk of brain and acoustic nerve tumours: the French INTERPHONE case-control study. *Rev Epidemiol Sante Publique* 55:321-332 (in Französisch).
- Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbély AA Achermann P (2000) Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *NeuroReport* 11:3321-3325.
- Huber R, Schuderer J, Graf T, Jütz K, Borbély AA, Kuster N, Achermann P (2003) Radio frequency electromagnetic foeld exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 24:262-276
- Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P (2002) Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional blood flow and sleep and waking EEG. *J. Sleep Res.* 11:289-295.

- Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M (2006). Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup. Environ. Med.* 2006; 63:307-313; 2006.
- IEGMP (2000) Mobile phones and health. Report of an independent group on mobile phones and health. ISBN 0-85951-450-1-. <http://www.iegmp.org.uk>
- Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WP, Selker RG *et al.* (2001) Cellular telephone use and brain tumors. *N. Engl. J. Med.* 344:79-86.
- Irlenbusch L, Bartsch B, Cooper J, Herget I, Marx B, Raczek J, Thoss F (2007) Influence of a 902.4 MHz GSM signal on the human visual system: Investigation of the discrimination threshold. *Bioelectromagnetics* 28(8):648–654
- Jahre K, Matkey K, Mecklenburg H-J (1996) Der Einfluß von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroencephalogramm von Menschen, Edition Wissenschaft, Forschungsgemeinschaft Funk
- Janssen T, Boege P, von Mikusch-Buchberg J, Raczek J (2005) Investigation of potential effects of cellular phones on human auditory function by means of distortion product otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am.* 117:1241-1247
- Jauchem JR (2008) Effects of low-level radio-frequency (3kHz to 300 GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: A review of the recent literature, *Int. J. Hyg. Environ. Health* 211, 1-29
- Jensh RP (1997) Behavioral teratologic studies using microwave radiation: is there an increased risk from exposure to cellular phones and microwave ovens? *Reprod. Toxicol.* 11(4):601-611
- Johansen C, Boice JF, McLaughlin JK, Olsen JH (2001). Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. *J. Natl. Cancer Inst.* 93:203-7
- Johansen C, Boice JD, McLaughlin JK, Christensen HC, Olsen JH (2002). Mobile phones and malignant melanoma of the eye. *Br J Cancer* 86: 348-349.; 2001.
- Juutilainen J (2005) Developmental effects of electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 26(S7):S107-S115
- Kastenholz, H. und Benighaus, C. (2003) Information und Dialog bei der Standortsuche von Mobilfunkanlagen – Ein Praxisleitfaden. Sozialministerium Baden-Württemberg (Hrsg.).
- Keetley V, Wood AW, Spong J, Stough C (2006) Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans. *Neuropsychologia* 4(10):1843-1848
- Kellenyi L, Thuroczy G, Faludy B, Lenard L (1999) Effects of mobile GSM radiotelephone exposure on the auditory brainstem response (ABR). *Neurobiology (Bp).* 7(1):79-81
- Kemp, R.V. und Greulich, T. (2004) Working with the Community: Handbook on Mobile Telecoms Community Consultation for Best Siting Practice. Mobile Operators Association (Hrsg.).
- Kizilay A, Ozturan O, Erdem T, Kalcioğlu MT, Miman MC (2003) Effects of chronic exposure of electromagnetic fields from mobile phones on hearing in rats. *Auris Nasus Larynx.* 30(3):239-245
- Klaeboe L, Blaasaas KG, Tynes T (2007) Use of mobile phones in Norway and risk of intracranial tumours. *Eur. J. Cancer Prev.* 16: 158-64.
- Klitzing von L (1995) Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* 11(2):77-80
- Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H (2000) The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *NeuroReport* 11(8):1641-1643
- Kräuchi K (2007) The human sleep-wake cycle reconsidered from a thermoregulatory point of view. *Physiol. Behav.* 9(2-3):236-245
- Krause CM, Haarala C, Sillanmäki L, Koivisto M, Alanko K, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H (2004) Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: A double blind replication study. *Bioelectromagnetics* 25(1):33-40.
- Krause CM, Pesonen M, Haarala C, Björnberg L, Hämäläinen H (2007) Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing. *Bioelectromagnetics* 28(4):296-308.
- Krause, CM, L Sillanmäki, M Koivisto, A Häggqvist, C Saarela, A Revonsuo, M Laine and H Hämäläinen (2000a) Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *NeuroReport* 11:761-764.

- Krause, CM, Sillanmäki L, Koivisto M, Häggquist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H (2000b) Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int. J. Radiat. Biol.* 76:1659-1667.
- Kramer A, Kühn S, Lott S, Kuster N (2005) Development of Procedures for the Assessment of Human Exposure to EMF from Wireless Devices in Home and Office Environments. Final Report <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/03571/index.html?lang=de&download=M3wBPgDB/8ull6Du36WenojQ1NTTjaXZnqWfVpzLhmfhnapmmc7Zi6rZnqCkklN0fHaCbKbXrZ6lhuDZz8mMps2gpKfo>
- Kreuzer M, Matthes R, Pölzl Ch, Weiss W, Ziegelberger G (2004) Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks. Tagungsbericht des 2. Fachgesprächs. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzburg, SG-IB-01/04
- Kühn S, Lott U, Kramer A, Kuster N (2005) : „Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Radiation from Wireless Devices in Home and Office Environments; Presentation at the WHO Workshop on Base Stations & Wireless Networks: Exposure and Health Consequences, 15. June 2005, Geneva: [http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/bsw\\_kuster.pdf](http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/bsw_kuster.pdf)“
- Kumlin T, Iivonen H, Miettinen P, Juvonen A, van Groen T, Puranen L, Pitkäaho R, Juutilainen J, Tanila H. (2007) Mobile phone radiation and the developing brain: behavioral and morphological effects in juvenile rats, *Radiat Res.* 168 (4): 471-479
- Kuribayashi M, Wang J, Fujiwara O, Doi Y, Nabae K, Tamano S, Ogiso T, Asamoto M, Shirai T (2005) Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats. *Bioelectromagnetics* 26 (7): 578-588
- Kuster N, Schuderer J, Christ A, Futter P, Ebert S (2004) Guidance for Exposure Design of Human Studies Addressing Health Risk Evaluations of Mobile Phones *Bioelectromagnetics* 25:524-529
- Lagorio S, Rossi S, Vecchia P, DeSantis M, Bastianini L, Fusilli M *et al.* (1997) Mortality of plastic-ware workers exposed to radiofrequencies. *Bioelectromagnetics* 18:418-421. *et al.* 1997
- Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, *et al.* Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Lonn S, Swerdlow AJ, Tynes T, Salminen T (2007). Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int. J. Cancer* 120; 1769-75; 2007.
- Lai H, Horita A, Guy AW (1994) Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics* 15: 95-104
- Lebovitz RM, Johnson L (1987) Acute, whole-body microwave exposure and testicular function of rats. *Bioelectromagnetics* 8(1):37-43
- Leitgeb N (1998). Electromagnetic Hypersensitivity. Paper presented at the International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-specific Health Symptoms, Graz, Austria.
- Leitgeb N, Schröttner J. (2003) Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics* 24(6):387–94.
- Lerchl A, Krüger H, Niehaus J, Streckert JR, Bitz AK, 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.* DOI 10.1111/j.1600-079X.2007.00522.x
- Lerman Y, Jacobovich R, Green MS (2001) Pregnancy outcome following exposure to shortwaves among female physiotherapists in Israel, *Am Journal of Industrial Medicine* 39: 499-504
- Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R (2002) Nonthermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 70: 120-129
- Lin JC, Wang Z (2007) Hearing of microwave pulses by humans and animals: effects, mechanism, and thresholds. *Health Phys.* 92(6):621–628
- Lönn S, Ahlbom A, Christensen HC, *et al.* Johansen C, Schuz J, Edström S, Henriksson G, Lundgren J, Wennerberg J, Feychting M (2006) Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Am. J. Epidemiol.* 164; 637-43; 2006
- Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M, Swedish INTERPHONE Study Group (2005). Long-term cellular phone use and brain tumour risk. *Am. J. Epidemiol.* 161: 526-35; 2005
- Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C (2005) The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *NeuroReport* 16(17):1973 - 1976
- Magras IN, Xenos TD (1997) RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics* 18(6):455-461

- Mann K, Röschke J (1996) Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 33:41-47
- Maskarinec G, Cooper J, Swygert L. Investigation of increased incidence in childhood leukaemia near radio towers of Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 13:33-37; 1994.
- Masuda H, Ushiyama A, Hirota S, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Taki M, Ohkubo C. (2007a) Effects of acute exposure to a 1439 MHz electromagnetic field on the microcirculatory parameters in rat brain. *In vivo* 21 (4): 555-562
- Masuda H, Ushiyama A, Hirota S, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Taki M, Ohkubo Ch (2007b) Effects of subchronic exposure to a 1439 MHz electromagnetic field on the microcirculatory parameters in rat brain. *In vivo* 21 (4): 563-570
- McKenzie DR, Yin Y, Morrell S (1998). Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney – a second look. *Aust. N. Z. J. Public Health* 1998; 22:360-7.
- Meo SA, Al-Drees AM (2005) Mobile phone related-hazards and subjective hearing and vision symptoms in the Saudi population. *Int J Occup Med Environ Health*. 18(1):53-57
- Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Brüggemeyer H, Phillipp J, Spix C, Blettner M, Schüz J (2007). Leukämie bei Kindern in der Umgebung von Sendestationen des Rundfunks – Anforderungen an das Studiendesign. *Umweltmed Forsch Prax*, 12: 213-223
- Michelozzi P, Capon A, Kirchmayr U, *et al*/Forastiere F, Biggeri A, Barca A, Perucci CA (2002). Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am. J. Epidemiol.* 2002; 155:1096-103.
- Milham S (*et al.* 1988). Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am. J. Epidemiol.* 127:50-54.
- Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K, Exuzides KA, Heringer S, Negrete W (2000)*et al.* 2000 Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 11:118-127.
- Mueller CH, Krueger H, Schierz C. (2002) Project NEMESIS: perception of a 50 Hz electric and magnetic field at low intensities (laboratory experiment). *Bioelectromagnetics* 23(1):26-36
- Muhm J *Met al.*( 1992). Mortality investigation of workers in an electromagnetic pulse test programme. *J Occup Med* 34:287-292.
- Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, Neugut AI, Stellman SD *et al.* (2002) Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 58:1304-1306.
- Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, Stellman SD, McRee D *et al.* (2002) Handheld cellular telephones and risk of brain cancer. *J.A.M.A.* 284:3001-3007
- Nasta F, Prisco MG, Pinto R, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C (2006) Effects of GSM-Modulated Radiofrequency Electromagnetic Fields on B-Cell Peripheral Differentiation and Antibody Production. *Radiation Research* 165: 664-670
- Navarro EA, Segura J, Portoles M, Gomez-Perretta de Mateo C (2003). The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagn. Biol. Med.* 22:161-169; 2003.
- Neubauer G, Feychting M, Hamnerius Y., Kheifets L, Kuster N, Ruiz I, Schüz J, Überbacher R, Wiart J, Rössli M (2007). Feasibility of future epidemiological studies on health effects of mobile telephone base stations. *Bioelectromagnetics* 28; 224-30; 2007.
- Nittby H, Grafström G, Tian DP, Malmgren L, Brun A, Persson BR, Salford LG, Eberhardt J (2007) Cognitive impairment in rats after long-term exposure to GSM-900 mobile phone radiation. *Bioelectromagnetics* DOI 10.1002/bem.20386
- Oberto G, Rolfo K, Yu P, Carbonatto M, Peano S, Kuster N, Ebert S, Tofani S (2007) Carcinogenicity Study of 217 Hz Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields in Pim1 Transgenic Mice. *Radiat Res.* 168 (3): 316-326
- Oftedal G, Wilen J, Sandstrom M, Mild KH (2000). Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup. Med.* 50: 237-245; 2000.
- Oktay MF, Dasdag S (2006) Effects of intensive and moderate cellular phone use on hearing function. *Electromagn Biol Med.* 25(1):13-21
- Oktay MF, Dasdag S, Akdere M, Cureoglu S, Cebe M, Yazicioglu M, Topcu I, Meric F (2004) Occupational safety: effects of workplace radiofrequencies on hearing function. *Arch Med Res.* 35(6): 517–521
- Ozguner M, Koyu A, Cesur G, Ural M, Ozguner F, Gokcimen A, Delibas N. (2005) Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. *Saudi Med J.* 23(6):405-410

- Ozturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioğlu MT, Oncel S (2002) Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Oto-Laryngologica* 122(39):289-293
- Paglalunga A, Tognola G, Parazzini M, Lutman ME, Bell SL, Thuroczy G, Ravazzani P. (2007) Effects of mobile phone exposure on time frequency fine structure of transiently evoked otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am.* 122(4):2174-2182
- Parazzini M, Bell S, Thuroczy G, Molnar F, Tognola G, Lutman ME, Ravazzani P (2005) Influence on the mechanisms of generation of distortion product otoacoustic emissions of mobile phone exposure. *Hear Res.* 208: 68 – 78
- Parazzini M, Brazzale AR, Paglalunga A, Tognola G, Collet L, Moulin A, Lutman ME, Bell SL, Thomas NA, Uloziene I, Uloza V, Thuroczy G, Tavartkiladze G, Tsalighopoulos M, Kyriafinis G, Ravazzani P (2007b) Effects of GSM Cellular Phones on Human Hearing: The European Project "GUARD". *Radiat Res.* 168(5):608–613
- Parazzini M, Galloni P, Piscitelli M, Pinto R, Lovisolo GA, Tognola G, Ravazzani P, Marino C (2007a) Possible combined effects of 900 MHz continuous-wave electromagnetic fields and gentamicin on the auditory system of rats. *Radiat Res.* 167(5):600 – 6005
- Pau HW, Sievert U, Eggert S, Wild W. (2005) Can electromagnetic fields emitted by mobile phones stimulate the vestibular organ? *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 132(1):43–49
- Plewnia C, Hoppe J, Hiemke C, Bartels M, Cohen LG, Gerloff C (2002) Enhancement of human cortico-motoneuronal excitability by the selective norepinephrine reuptake inhibitor reboxetine. *Neurosci Lett* 330(3): 231-234
- Potthoff P, Heinemann LA, Güther B. A household panel as a tool for cost-effective health-related population surveys: validity of the "Healthcase Access Panel". *German Medical Science* 2004; 2: Doc05.
- Preece AW, Goodfellow S, Wright MG, Butler RS, Dunn EJ, Johnson Y, Manktelow TC, Wesnes K (2005) Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics* 26(S7):S138-S143
- Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A (1999) Effects of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int. J. Radiat. Biol.* 57(4):447-456
- Radon K, Spiegel H, Meyer N, Klein J, Brix J, Wiedenhofer A, Eder H, Praml G, Schulze A, Ehrenstein V, von Kries R, Nowak D (2006). Personal Dosimetry of Exposure to Mobile Telephone Base Stations? An Epidemiologic Feasibility Study Comparing the Maschek Dosimeter Prototype and the Antennessa DSP-090 System, *Bioelectromagnetics* 27:77-81; 2006.
- Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, Tinguely G, Rétey JV, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. (2007) Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport.* 18(8):803-807
- Regel SJ, Negovetic S, Rössli M, Berdiñas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P (2006) UMTS Base Station-Like Exposure, Well Being and Cognitive Performance. *Environ Health Perspect.* 114(8):1270–1275
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris Aw (1997) Lymphomas in  $\text{E}\mu\text{-Pim1}$  Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields. *Radiat. Res.* 147: 631-640
- Riddervold IS, Pedersen GF, Andersen NT, Pedersen AD, Andersen JB, Zachariae R, Mølhav L, Sigsgaard T, Kjærgaard (2007) Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to RF radiation from UMTS base stations. *Bioelectromagnetics* DOI 10.1002/bem.20388
- Rubin GJ, Das Munshi J, Wessely S (2005) Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosom Med* 67(2): 224 – 232
- Russo R, Fox E, Cinel C, Boldini A, Defeyter MA, Mirshekar-Syahkal D, Mehta A (2006) Does acute exposure to mobile phones affect human attention? *Bioelectromagnetics* 27(3):215-220
- Sadetzki S, Chetrit A, Jarus-Haka A, Cardis E, Deutch Y, Duvdevani S, Zultan A, Novkikov I, Freedman L, Wolf M (2007). Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors – a nationwide case-control study. *Am J Epidemiol* 167: 457-67, 2007.
- Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR (2003) Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental Health Perspectives* 111(7):881-883
- Sandstrom M, Wilen J, Oftedal G, Hansson MK (2001). Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by analogue and digital mobile phones. *Occup. Med.* 51: 25-35; 2001.

- Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M (2002). Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II/Incidence according to distance and sex. *Pathol Biol* 50: 369-373; 2002.
- Saunders RD, Kowalczyk CI (1981a) The effect of acute far field exposure at 2.45 GHz on the mouse testis. *Int. J. Radiat. Biol.* 39(6):587-596
- Saunders RD, Kowalczyk CI (1981b) Effects of 2.45 GHz microwave radiation and heat on mouse spermatogenic epithelium. *Int. J. Radiat. Biol.* 1981 40(6):623-632
- Scarfi MR, Sannino A, Perrotta A, Sarti M, Mesirca P, Bersani F. (2005) Evaluation of genotoxic effects in human fibroblasts after intermittent exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a confirmatory study. *Radiat Res.* 164 (3) 270 - 276
- Schirmacher A, Winters S, Fischer S, Goeke J, Galla HJ, Kullnick U, Ringelstein EB, Stögbauer F (2000) Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier *in vitro*. *Bioelectromagnetics* 21(5):338-345
- Schlehofer B, Schlaefer K, Blettner M, Berg G, Böhler E, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Schüz J, Interphone Study Group (2007). Environmental risk factors for sporadic acoustic neuroma (Interphone Study Group). *Eur J Cancer* 43:1741-7, 2007.
- Schmid G, Sauter C, Stepansky R, Lobentanz IS, Zeitlhofer J (2005) No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 26(4): 243–250
- Schmidt-Pokrzywniak A, Stang A, bornfeld N, Jöckel KH (2007). Risk of uveal melanoma. *Ophthalmology* 114: 1418.
- Schönborn F, Burkhardt M, Kuster N. (1998) Differences in energy absorption between heads of adults and children in the near field of sources. *Health Phys.* 74 (2):160-168
- Schreier, N., Huss A., Rösli, M. (2006) "The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland." *Sozial- und Präventivmedizin* 51(4): 202-209.
- Schüz J, Böhler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schlaefer K, et. al. Wahrendorf J, Kunna-Grass K, Blettner M (2006a), Cellular phones, cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone study group, Germany). *Am. J. Epidemiol.* 163: 512-20; 2006a.
- Schüz J, Philipp J, Merzenich H, Schmiedel S, Brüggemeyer H (2008). RE: "Radio-frequency exposure from AM radio transmitters and childhood leukaemia and brain cancer". *Am J Epidemiol* 1: 167:883-4.
- Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, et al/Olsen JH, Boice JD, McLaughlin JK, Johansen C (2006b). Cellular telephone use and cancer risk: update of a nationwide Danish cohort. *J. Natl. Cancer Inst.* 98; 1707-13; 2006b
- Schüz J, Böhler E, Schlehofer B, Berg G, Schlaefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M (2006c). Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone study group, Germany). *Radiat. Res.* 166:116-9.
- Shoemaker MJ, Swerdlow AJ, Ahlbom A, Auvinen A, Blaasaas KG, Cardis E, Christensen HC, Feychting M, Hepworth SJ, Johansen C, Klæboe L, Lönn S, McKinney PA, Muir K, Raitanen J, Salminen T, Thomsen J, Tynes T (2005). Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br. J. Cancer* 93:842-8; 2005.
- Sienkiewicz ZJ, Blackwell RP, Haylock RG, Saunders RD, Cobb BL (2000) Low level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics* 21:151-158
- Sievert U, Eggert S, Goltz S, Pau HW (2006) Effects of Electromagnetic Fields Emitted by Cellular Phone on Auditory and Vestibular Labyrinth. *Laryngorhinotologie* 86(4):264-270
- Sievert U, Eggert S, Pau HW. (2005) Can mobile phone emissions affect auditory functions of cochlea or brain stem? *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 132(3):451–455
- Szmigielski S *et al.* (1996) Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave electromagnetic radiation. *Sci. Total Environ.* 180:9-17
- Speit G, Schutz P, Hoffmann H (2007) Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. *Mutat Res* 626 (1-2):42-47
- SSK (2001) Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Verabschiedet in der 173. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 04. Juli 2001. <http://www.ssk.de/werke/volltext/2001/ssk0103.pdf>
- SSK (2006) Mobilfunk und Kinder, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung. Verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 05./ 06. Dezember 2006 <http://www.ssk.de/werke/kurzinfo/2006/ssk0619.htm>

- SSK (2006) Wirkung hochfrequenter Felder auf das Genom: Genotoxizität und Genregulation, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 213. Sitzung am 05./06.12.2006 <http://www.ssk.de/werke/volltext/2006/ssk0620.pdf>
- Stang A, Ahrens W, Anastassiou G, Bornfeld N, Jöckel KH (2001). The possible role of radio-frequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 2001; 12:7-12.
- Stefanics G, Kellenyi L, Molnar F, Kubinyi G, Thuroczy G, Hernadi I (2007) Short GSM mobile phone exposure does not alter human auditory brainstem response. *BMC Public Health*. 7(1):325
- Stronati L, Testa A, Moquet J, Edwards A, Cordelli E, Villani P, Marino C, Fresegna AM, Appolloni M, Lloyd D (2006) 935 MHz cellular phone radiation. An *in vitro* study of genotoxicity in human lymphocytes. *Int J Radiat Biol*. 82(5):339-346
- Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, Taki M, Wake K, Watanabe S, Yamaguchi N (2006). Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occup. Environ. Med.* 63:802-807; 2006
- Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, Wake K, Taki M, Watanabe S, Akiba S, Yamaguchi N (2008). Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. *Br. J. Cancer* 98:652-659, 2008.
- Tan J, Ruttiger L, Panford-Walsh R, Singer W, Schulze H, Kilian SB, Hadjab S, Zimmermann U, Kopschall I, Rohbock K (2007) Tinnitus behavior and hearing function correlate with the reciprocal expression patterns of BDNF and Arg3.1/arc in auditory neurons following acoustic trauma. *Neuroscience* 145(2):715-726
- Thomas TL, Stolley PD, Stemhagen A, Fonham ET, Bleecker M, Stewart PA, *et al.* (1987) Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: a case-control study. *J Natl Cancer Inst* 79:233-238. *et al.* 1987
- Tsurita G, Nagawa H, Ueno S, Watanabe S, Taki M (2000) Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 21: 364-371
- Tuschl H, Novak W, Molla-Djafari H (2006) *In vitro* effects of GSM modulated radiofrequency fields on human immune cells. *Bioelectromagnetics* 27(3):188 - 196
- Tynes T, Hannevik M, Andersen A, Vistens AI, Haldorsen T (*et al.* 1996). Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators. *Cancer Causes Control* 7: 197-204.
- Ulmer, F., Keck, G. und Biedemann, B. (2005) Thema Mobilfunk. Erfolgreiche Abstimmungsprozesse beim Aufbau der Mobilfunknetze. Informationszentrum Mobilfunk e.V.
- Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, Saferis V (2005) Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Public Health*. 5(1):39
- Unterlechner M, Sauter C, Schmid G, Zeithofer J (2008) No Effect of an UMTS Mobile Phone-Like electromagnetic Field of 1.97 GHz on Human Attention and Reaction Time. *Bioelectromagnetics* 29(2):145-153
- Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR (2002) Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res*. 158 (3): 357-364
- Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, Del Percio C, Rossini PM. (2007) Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms. *Eur J Neurosci*. 25(6):1908-1913
- Vijayalaxmi, Obe G (2004) Controversial Cytogenetic Observations in Mammalian Somatic Cells Exposed to Radiofrequency Radiation. *Radiation Research* 162:481-496
- Vrijheid M, Cardis E, Armstrong BK *et al.* (2006) Validation study of short term recall of mobile phone use for the interphone study. *Occup. Environ. Med.* 63: 237-43; 2006.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, Götzinger M (2000) Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 42(4):207-212
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C (1998) Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19:199-202
- Wainwright P (2000) Thermal effects of radiation from cellular telephones. *Phys. Med. Biol.* 45(8):2363-2372.
- Walters, T. J., Mason, P. A., Sherry, C. J., Steffen, C, Merritt, C. J. (1995) No detectable bioeffects following acute exposure to high peak power ultra-wide band electromagnetic radiation in rats. *Aviation Space and Environmental Medicine* 66 (6) 562-567

- Wang B, Lai H (2000) Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance in rats. *Bioelectromagnetics* 21: 52-56
- Wang J, Sakurai T, Koyama S, Komatubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J (2005) Effects of 2450 MHz Electromagnetic Fields with a Wide Range of SARs on Methylcholanthrene-induced Transformation in C3H10T1/2 Cells. *J Radat Res.* 46: 351-361
- WHO (2003) Research agenda for radio frequency fields. <http://www.who.int/peh-emf/research/ef03/en/>
- WHO (2006) Research agenda for radio frequency fields. [http://www.who.int/peh-emf/research/ef\\_research\\_agenda\\_2006.pdf](http://www.who.int/peh-emf/research/ef_research_agenda_2006.pdf)
- Wiedemann, P. M. und Schütz, H.(2002) Wer fürchtet den Mobilfunk? Gruppenspezifische Differenzen bei der Risikowahrnehmung. Programmgruppe Mensch Umwelt Technik, Forschungszentrum Jülich. Arbeiten zur Risikokommission 84: 1-38.
- Wiedemann, P. M., H. Schütz, Brüggemann, A. (2000) Leitfaden zum Umgang mit Problemen elektromagnetischer Felder in den Kommunen. Programmgruppe Mensch Umwelt Technik, Forschungszentrum Jülich
- Yamaguchi H, Tsurita G, Ueno S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Nagawa H (2003) 1439 MHz Pulsed TDMA Fields Affect Performance of Rats in a T-maze Task Only When Body Temperature Is Elevated. *Bioelectromagnetics* 24: 223-230
- Zeni O, Gallerano GP, Perrotta A, Romanò M, Sannino A, Sarti M, D'Arienzo M, Doria A, Giovenale E, Lai A, Messina G, Scarfi (2007) Cytogenetic observations in human peripheral blood leukocytes following *in vitro* exposure to THz radiation: a pilot study. *Health Phys.* 92(4):149-357
- Zwamborn APM, Vossen SHJA, van Leersum BJAM, Ouwens MA, Makel WN (2003) Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO). FEL-03-C148 [http://home.tiscali.be/milieugezondheid/dossiers/gsm/TNO\\_rapport\\_Nederland\\_sept\\_2003.pdf](http://home.tiscali.be/milieugezondheid/dossiers/gsm/TNO_rapport_Nederland_sept_2003.pdf).
- Zwick, M. M. und Renn O. (2002) Wahrnehmung und Bewertung von Risiken "Ergebnisse des Risikosurvey Baden-Württemberg 2001". Arbeitsbericht.

## ANHANG 3 (ANNEX 3)

### FORSCHUNGSPROJEKTE DES DEUTSCHEN MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMMS (RESEARCH PROJECTS OF THE GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME)

Biologie
<p><b>Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie</b></p> <p><b>A. Demodulation / Kommunikation</b></p> <p>Es wird die elektrische Feldverteilung an und in der Zellmembran unter dem Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder berechnet und experimentell überprüft. An neuronalen Netzwerken wird die Aktivität der einzelnen Nervenzellen und die Signalübertragung zwischen den Nervenzellen untersucht.</p>
<p><b>Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie</b></p> <p><b>B. Pinealdrüse</b></p> <p>In der Hirnanhangsdrüse wird u. a. das Hormon Melatonin gebildet. Es soll geklärt werden, ob die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks die Hirnanhangsdrüse in ihrer Funktion beeinflussen.</p>
<p><b>Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie</b></p> <p><b>C. Funktionen</b></p> <p>An Immunzellen wird der Einfluss eines GSM-Mobilfunksignals auf zelltypspezifische Funktionen wie die Phagozytoseaktivität, die Produktion freier Radikale (Superoxide und Stickoxide) und die Bildung von Interleukinen sowie mögliche Einflüsse auf das Proteinstückmuster der Zellen untersucht.</p>
<p><b>Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder</b></p> <p>Mäuse eines für die Entstehung einer bestimmten Form des Blutkrebses (lymphoblastische Lymphome) empfindlichen Zuchtstammes werden lebenslang elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks ausgesetzt. Es werden die Überlebensrate und das Körpergewicht dokumentiert, Blutwerte analysiert, und relevante Organe auf das Auftreten von Tumormarkern (Tumorkennzeichen) untersucht.</p>
<p><b><i>in vivo</i> - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation</b></p> <p><b>A. Langzeituntersuchungen</b></p> <p>Hier werden über drei Generationen hinweg Labornager Mobilfunkfeldern ausgesetzt. Der Gesundheitszustand der Tiere, die Körperentwicklung, die Vermehrungsfähigkeit und vor allem mögliche Auswirkungen auf Lernleistung und Gedächtnis werden untersucht.</p>
<p><b><i>in vivo</i> - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation</b></p> <p><b>B. Kanzerogenese</b></p> <p>Hier wird untersucht, ob die Felder der UMTS-Mobilfunktechnologie bei dauerhafter Befeldung die Leukämierate oder die Bildung solider Tumore in einem Leukämie-Tiermodell, den AKR-Mäusen, beeinflussen.</p>
<p><b><i>in vitro</i> - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation</b></p> <p><b>C. Blut-Hirn-Schranke</b></p> <p>Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung der Frage, ob und wie Zellen der Blut-Hirn-Schranke durch hochfrequente Felder der Mobilfunktechnologie beeinflusst werden.</p>
<p><b>Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (<i>in vivo</i>)</b></p> <p>Aufgabe dieses Vorhabens ist es, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke im Tiermodell Ratte zu bestimmen. Es wird untersucht, ob Schäden – ggf. auch zeitverzögert – auftreten, ob sich eine eventuell erhöhte Durchlässigkeit wieder rückbildet, und ob etwaige Veränderungen als Hinweis für eine Gesundheitsschädigung gewertet werden können.</p>
<p><b>Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut</b></p> <p>In der geplanten Studie über mögliche HF-bedingte, genotoxische Effekte werden DNA-Strangbrüche, chromosomale Veränderungen, Mikrokerne und Schwesterchromatidaustausche untersucht. Dazu wird Blut von mehreren Spendern (Erwachsene und Kinder) mit Mobilfunksignalen befeldet und nach einem einheitlichen Protokoll in drei Labors, die nicht die Befeldung durchgeführt haben, parallel analysiert.</p>

<p><b>Einfluss von GSM Signalen auf isoliertes menschliches Blut</b></p> <p><b>B. Differenzielle Genexpression</b></p> <p>Ziel des Projekts ist die Untersuchung der Frage, ob Felder des Mobilfunks das Proteinmuster in Blutzellen (z. B. die Bildung von Stressproteinen) beeinflussen. Analog zum Projekt Genotoxizität werden Blutzellen (Lymphozyten) erwachsener und jugendlicher Spender befeuchtet und analysiert.</p>
<p><b>Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane</b></p> <p><b>A. Das Hörsystem</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Hörsystem zu beschreiben und deren Wirkungsmechanismen zu untersuchen, um die gesundheitliche Relevanz beurteilen zu können.</p>
<p><b>Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)</b></p> <p>Als Ergänzung zu dem Projekt „Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem“ soll hier untersucht werden, ob und ab welcher Intensität hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks Tinnitus auslösen könnten.</p>
<p><b>Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane.</b></p> <p><b>B. Das visuelle System</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Auge zu beschreiben und deren Wirkungsmechanismen zu untersuchen, um die gesundheitliche Relevanz beurteilen zu können.</p>
<p><b>Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter</b></p> <p>In einer umfassenden Literatur- und Datenrecherche wurden mögliche altersabhängige Auswirkungen der HF-Exposition untersucht und kritische Zielstrukturen diskutiert. Als Ergebnis wird empfohlen, kopfnah betriebene Strahlungsquellen mit höchster Priorität zu betrachten. Obwohl auch biologische und epidemiologische Studien machbar sind, werden Projekte mit dosimetrischer Ausrichtung favorisiert. Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass in einer einzelnen Hauptstudie zwar die Fragestellung nicht umfassend beantwortet werden kann, wichtige Teilaspekte aber sinnvoll bearbeitet werden können. Eine Hauptstudie wird auf Basis der Machbarkeitsstudie durchgeführt.</p>
<p><b>Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter (Hauptstudie)</b></p> <p>Durch möglichst realitätsnahe Modellierung sowohl des kindlichen Kopfes als auch der Strahlungsquelle soll die Frage nach Ausmaß und Verteilung der Energieaufnahme und Temperaturveränderungen im kindlichen Kopf untersucht werden. Dabei werden altersabhängige Unterschiede so weit wie möglich berücksichtigt. Untersuchungen an Probanden (Dicke und Elastizität des Ohres, Temperaturmessungen im Gehörgang und auf der Haut) fließen in die Modellierungen ein.</p>
<p><b>Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist es zu klären, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Mobiltelefonen abgegeben werden, die Gehirnaktivität (Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit) beeinflussen können.</p>
<p><b>Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist es, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Basisstationen des Mobilfunks auf die Schlafqualität der Bevölkerung in der Nähe einer Mobilfunksbasisstation zu untersuchen.</p>
<p><b>Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen</b></p> <p>In Ergänzung zu dem Projekt „Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen“ soll hier die Reaktion auf den Wegfall der elektromagnetischen Exposition in den Wohnungen von Betroffenen untersucht werden.</p>
<p><b>Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ an Patienten, die sich als elektrosensibel gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks betrachten. Die Studie soll klären, ob der selbstdiagnostizierten Elektrosensibilität eine besondere Empfindsamkeit oder Wahrnehmung elektromagnetischer Felder zugrunde liegt und wie die Gruppe der „Elektrosensiblen“ hinsichtlich psychischer und labor-klinischer Parameter charakterisiert ist.</p>
<p><b>Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien</b></p> <p>In dem Forschungsvorhaben soll anhand objektiver medizinischer Tests geklärt werden, ob Allergien und eine besonders hohe Belastung mit bzw. eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien tatsächlich bedeutsam für das Auftreten von Elektrosensibilität sind, und wie sich dieser Zusammenhang gegebenenfalls auf Art und Stärke der gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Betroffenen auswirkt.</p>

<p><b>Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen</b>  In dieser Studie soll geklärt werden, ob eine Langzeitexposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks nach UMTS-Standard Vermehrungsfähigkeit und Entwicklung beeinflusst.</p>
<p><b>Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)</b>  Im Forschungsprojekt „Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder“ wurde eine signifikant höhere Gewichtszunahme bei den nach GSM-Standard, SAR 0.4 W/kg chronisch exponierten Tieren im Vergleich zur Kontrolle beobachtet. Im vorliegenden Projekt soll untersucht werden, ob diese detektierte Gewichtszunahme auf eine Beeinflussung des Metabolismus unterhalb der Schwelle für gesicherte thermische Effekte zurückzuführen ist.</p>
<p><b>Dosimetrie</b></p>
<p><b>Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren</b>  Mit Hilfe rechnerischer Methoden soll die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Körper von exponierten Versuchstieren ermittelt und mit der experimentell ermittelten, möglichst hoch aufgelösten, räumlichen SAR-Verteilung verglichen werden.</p>
<p><b>Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen</b>  Ziel des Vorhabens ist es, Mess- und Berechnungsverfahren zu entwickeln, die geeignet sind, die Exposition der Bevölkerung im Umfeld von Mobilfunk Basisstationen zu ermitteln.</p>
<p><b>Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden</b>  Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens für die Erfassung der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgehend von Mobilfunkbasisstationen im Rahmen epidemiologischer Studien.</p>
<p><b>Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro</b>  Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung einer detaillierten Übersicht aus strahlenschutztechnischer Sicht über gegenwärtig bereits verwendete und in naher Zukunft am Markt zu erwartende drahtlose Kommunikationseinrichtungen für Heim- und Büroanwendungen sowie die Erarbeitung von mess- und rechentechnischen Verfahren zur Expositionsbestimmung.</p>
<p><b>Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter</b>  Aufbauend auf den gegenwärtig wissenschaftlich dokumentierten Erkenntnissen bezüglich der Absorption hochfrequenter elektromagnetischer Felder im menschlichen Körper, sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weiterreichende Untersuchungen, speziell im Hinblick auf anatomisch kleine und empfindliche Organstrukturen des Kopfes (z. B. Auge, Innenohr, Pinealdrüse) durchgeführt werden.</p>
<p><b>Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt</b>  Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Verfahren zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition der Nutzer von Mobiltelefonen zu diskutieren. Des weiteren soll durch das Vorhaben an einer Reihe konkreter Beispiele die zeitliche Variabilität sowie die Abhängigkeit der Belastung der Nutzer vom Gerät, von der Netzstruktur und von Umgebungseinflüssen gezeigt werden.</p>
<p><b>Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN - Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten</b>  Im Rahmen dieses Projektes soll die reale Feldverteilung im Umfeld von WLAN-Sendeantennen in innerstädtischen Gebieten erfasst werden, um ein Bild über die reale Expositionssituation zu bekommen, die sich durch diese Sender für die Bevölkerung ergibt.</p>
<p><b>Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen</b>  Als Ergänzung zum Projekt "Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen" sollen in diesem Projekt Verfahren zur Messung und Berechnung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen entwickelt werden.</p>
<p><b>Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien</b>  Die Hypothese, dass die drahtlose Telekommunikation in teilgeschirmten Räumen (z. B. Handynutzung in Kraftfahrzeugen, der Bahn oder in bestimmten Innenräumen) zu erhöhten Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder führt, soll im Rahmen dieses Projektes überprüft und quantifiziert werden.</p>
<p>Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich  Dieses Forschungsvorhaben soll die Frage beantworten, ob es im Rumpfbereich sensible, lokale Bereiche gibt, die unter den angesprochenen Randbedingungen stärker exponiert sind, und denen im Rahmen eines wirksamen Strahlenschutzkonzeptes besonders Rechnung zu tragen ist.</p>

<p><b>Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist es, Untersuchungen an relevanten Typen von DVB-T – und DAB - Sendeanlagen durchzuführen sowie die unterschiedlichen Versorgungskonzepte (analog, digital, Verteilung der Sender) in Hinblick auf die damit verbundene Exposition der Bevölkerung zu bewerten.</p>
<p><b>Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen</b></p> <p>Dielektrische Eigenschaften von biologischen Geweben wie etwa die elektrische Leitfähigkeit oder die Dielektrizitätskonstante sind makroskopische Größen. Im Rahmen dieses Projektes soll geprüft werden, ob diese Eigenschaften beim Übergang in zelluläre oder gar subzelluläre Dimensionen weiterhin ihre Gültigkeit besitzen.</p>
<p><b>Entwicklung eines praktikablen rechen-technischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen</b></p> <p>Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines praktikablen rechen-technischen Verfahrens zur Ermittlung der realen SAR-Werte in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen.</p>
<p><b>Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR Werte</b></p> <p>Ziel des Vorhabens ist zu untersuchen, welchen Einfluss das Design von Antennen und Geräten sowie die Wahl der Sendefrequenz auf die resultierenden SAR Werte von körpernah betriebenen Endgeräten drahtloser Kommunikationsdienste hat.</p>
<p><b>Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologien</b></p> <p>Mit Ultrawideband (UWB) steht eine neue Technologie vor der Einführung, die anders als die bisher üblicherweise zur Funkübertragung eingesetzten schmalbandigen Verfahren Expositionen über einen besonders weiten Frequenzbereich hervorrufen wird. Derzeit stehen noch keine geeigneten und anerkannten Verfahren für die Expositionserhebung von UWB Technologien zur Verfügung. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts soll daher der Frage nachgegangen werden, wie derartige Immissionen geeignet zu erheben und zu bewerten sind.</p>
<p><b>Epidemiologie</b></p>
<p><b>Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hoch-exponierter (Berufs)gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen</b></p> <p>Ziel des Vorhabens war es, im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu prüfen, ob in Deutschland eine Kohortenstudie zu hoch exponierten (Berufs-)gruppen durchgeführt werden kann. Es wurden potentielle 30 Berufsgruppen identifiziert und auf festgelegte Kriterien zur Machbarkeit einer Kohortenstudie geprüft. Nur drei Gruppen erfüllten die Kriterien. Für diese wurde ein mögliches Studiendesign erarbeitet und Vor- und Nachteile der Durchführung einer entsprechenden Kohortenstudie bewertet. Gesamtergebnis der Bewertung war, dass kein Studiendesign für eine Kohortenstudie festgelegt werden konnte, welches eine verzerrungsfreie Abschätzung des Erkrankungsrisikos durch HF-EMF erlaubt hätte. Das BfS hat deshalb entschieden, keine Kohortenstudie an hoch HF-exponierten Personen durchzuführen.</p>
<p><b>Machbarkeit einer prospektiven Kohortenstudie unter Handynutzern</b></p> <p>Zur Untersuchung von Langzeiteffekten von Handynutzung ist geplant, international eine prospektive Kohortenstudie zu Handynutzern mit 250.000 Kohortenmitgliedern in mehreren Studienzentren durchzuführen. In einer Machbarkeitsstudie wurde geprüft, ob in Deutschland eine Studie mit 50.000 Kohortenmitgliedern aufgebaut werden kann, die die Anforderungen des internationalen Studienprotokolls erfüllt. Die Machbarkeitsstudie zeigte, dass aufgrund der geringen Teilnehmeraten der Probanden eine solche Studie nur mit extrem großen Aufwand aufgebaut werden könnte. Aus diesem Grund hat das BfS beschließen müssen, im Rahmen des DMF-Programms keine solche Studie zu finanzieren.</p>
<p><b>Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)</b></p> <p>In einer von der DFG und der Uni Essen finanzierten Fall-Kontroll-Studie wird der Frage nachgegangen, inwieweit für häufige Nutzer eines Mobiltelefons ein erhöhtes Risiko besteht, an einem seltenen Augentumor zu erkranken. Ziel der zusätzlichen finanziellen Unterstützung durch das BfS war es, zusätzliche Interviews bei Fällen und Kontrollen durchzuführen, um die Aussagekraft der Studie zu erhöhen. Die Erhebung bei Fällen und Kontrollen ist abgeschlossen. Insgesamt wurden 458 Fälle und 1.210 Kontrollen interviewt. Die statistische Auswertung, die nicht Gegenstand dieses Projekts war, erfolgt derzeit.</p>
<p><b>Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen</b></p> <p>Im Rahmen einer Basiserhebung wurde ein bundesweiter Querschnitt von ca. 40.000 Personen zu gesundheitlichen Beschwerden und subjektivem Expositionserleben befragt, sowie eine grobe Abschätzung der Felder von Mobilfunkbasisstationen über die Standortdaten der Basisstationen und Angaben der Probanden vorgenommen. Auf Basis einer Vertiefungserhebung bei 3.200 regional aus der Basiserhebung ausgewählten Probanden erfolgen detaillierte Erhebungen der Beschwerden und Confounder. Darauf aufbauend werden Risikoanalysen durchgeführt.</p>

<p><b>Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie</b> Im Rahmen der Vertiefungserhebung des Vorhabens "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunk-Basisstationen" werden zusätzlich Personendosimeter zur Expositionsbestimmung eingesetzt.</p>
<p><b>Validierung des Expositions-surrogats der Querschnittsstudie</b> Auf der Grundlage der in der Ergänzungsstudie zur Querschnittsstudie für 1.500 Probanden durchgeführten Messungen soll eine externe Validierung des Expositions-surrogats der Hauptstudie durchgeführt werden.</p>
<p><b>Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)</b> Zur Klärung, ob bei Verwendung eines Mobiltelefons ein erhöhtes Hirntumorrisiko vorliegt, initiierte die WHO eine internationale Fallkontrollstudie, die in 13 Ländern nach einem einheitlichen Studienprotokoll durchgeführt wird. Durch das DMF wird eine Erweiterungsstudie finanziert, mit der die Aussagekraft des deutschen Studienteils gestärkt und die Übertragung der Ergebnisse der internationalen Studie auf deutsche Verhältnisse verbessert werden soll.</p>
<p><b>Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie</b> Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein wichtiger Aspekt der Auswertung der Interphone-Rohdaten - die retrospektive Expositionsabschätzung - mitfinanziert.</p>
<p><b>Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen</b> Ziel des Vorhabens ist es, die Hypothese eines erhöhten Kinderleukämierisikos in der Umgebung starker Fernseh- und Rundfunksender in einer deutschlandweiten epidemiologischen Studie zu untersuchen</p>
<p><b>Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern</b> Ziel dieses Vorhabens ist es, im Rahmen einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie den Zusammenhang der akuten subjektiven Befindlichkeit mit der individuell gemessenen und selbsteingeschätzten Exposition von Mobilfunkfeldern bei Kindern und Jugendlichen zu untersuchen.</p>
<p><b>Risikokommunikation</b></p>
<p><b>Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information</b> Ziel des Vorhabens war es, die zentralen Zielgruppen für die Informations- und Kommunikationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk zu identifizieren und hinsichtlich ihrer charakterisierenden Merkmale und Eigenschaften zu beschreiben, um eine Grundlage für die zielgruppengerechte Information im Bereich Mobilfunk zu gewinnen.</p>
<p><b>Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate</b> Ziel des Vorhabens war es, eine fundierte, objektive und interessensunabhängige Informationsquelle zu schaffen, um die Diskussion über mögliche gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf eine sachlichere Grundlage zu stellen und den interessierten Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit zu geben, die tatsächlichen oder vermeintlichen Risiken durch elektromagnetische Felder objektiv einzuschätzen.</p>
<p><b>Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen</b> In jährlichen repräsentativen Umfragen werden die Wahrnehmung und Sorgen der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks ermittelt und mögliche Veränderungen erfasst.</p>
<p><b>Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen</b> Ziel des Vorhabens ist es, exemplarische Lösungen für die Standortproblematik zu finden und anhand eines Leitfadens eine sachliche Auseinandersetzung um den Mobilfunk vor Ort zu unterstützen. Anhand dieses Leitfadens soll den Kommunen Informationen an die Hand gegeben werden, wie die angemessene Information der Bürger im Rahmen der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen erfolgen kann.</p>
<p><b>Ergänzende Informationen über Elektrosensible</b> Ziel des Vorhabens ist es, nähere beschreibende Informationen über elektrosensible Personen im Bereich der soziodemografischen und weiteren Persönlichkeitsmerkmale zu erheben. Damit sollen die Kenntnisse über elektrosensible Personen über den medizinisch-biologischen Bereich hinaus ergänzt und diese Personengruppe "im Ganzen" beschrieben werden.</p>
<p><b>Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen</b> Ziel dieses Vorhabens ist es, die Kenntnis und Wirkung in der Öffentlichkeit der im Bereich Mobilfunk zahlreich vorhandenen Informations- und Kommunikationsmaßnahmen zu untersuchen.</p>
<p><b>Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21</b> Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die vorhandenen Erfahrungen und Potenziale aus den lokalen Agenda 21-Prozessen auszuwerten und daraus Empfehlungen für die Kooperation der Beteiligten im Mobilfunkbereich abzuleiten.</p>

## ANHANG 4 (ANNEX 4)

### WISSENSCHAFTLICHE PUBLIKATIONEN AUS DEM DMF (SCIENTIFIC PUBLICATIONS FROM THE GERMAN MOBILE TELECOMMUNICATION RESEARCH PROGRAMME)

#### „PEER REVIEWED“ JOURNALS

- Bahr A., Adami C., Bolz T., Rennings A., Dorn H., and Rüttiger L. Exposure setups for laboratory animals and volunteer studies using body-mounted antennas, *Radiation Protection Dosimetry Advance Access* published on June 26, 2007. doi:10.1093/rpd/ncm322
- Bahr A., Dorn H., and Bolz T. Dosimetric assessment of an exposure system for simulating GSM and WCDMA mobile phone usage, *Bioelectromagnetics* 27:320-327; 2006
- Baumann J., Landstorfer F. M., Geisbusch L., Georg R. Evaluation of radiation exposure by UMTS mobile phones. *Electronics Letters* 42(4): 225-226; 2006
- Berg G, Spallek J, Schlehofer B, Böhler E, Schlaefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. *Am. J. Epidemiol* 164: 538-48; 2006.
- Berg G., Breckenkamp J, Blettner M. Gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter Strahlenexposition. *Dt. Ärzteblatt: Heft 42: A 2738*; 2003
- Blettner M, Schlehofer B, Samkange-Zeeb F, Berg G, Schlaefer K, Schüz J. Medical exposure to ionising radiation and the risk of brain tumours: Interphone study group, Germany. *Eur J Cancer* 2007; 43:1990-8.
- Bornkessel Ch., Schubert M., Wuschek M., and Schmidt P. Determination of the general public exposure around GSM and UMTS base stations. *Radiation Protection Dosimetry Advance Access* published on October 12,. doi:10.1093/rpd/ncm373; 2007
- Breckenkamp J., Berg G., Blettner M. Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: a synopsis of cohort studies. *Radiat Environ Biophys*: 42: 141-154; 2003.
- Cardis E., Deltour I., Mann S., Moissonnier M., Taki M., Varsier N., Wake K., Wiart J. Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the brain. *Physics in Medicine and Biology* 53: 1-13; 2008.
- Christ A, Klingenböck A, Samaras T, Goiceanu C, Kuster The Dependence of Electromagnetic Far-Field Absorption on Body Tissue Composition in the Frequency Range From 300 MHz to 6 GHz. *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, VOL. 54, NO. 5, 2188 – 2195; 2006.
- Christ A, Samaras T, Klingenböck A, Kuster N. Characterization of the electromagnetic near-field absorption in layered biological tissue in the frequency range from 30 MHz to 6000 MHz, *Phys. Med. Biol.*, 51:4951 – 4965; 2006.
- Christ A, Samaras T, Neufeld E, Klingenböck A, Kuster N. SAR distribution in human beings when using body-worn RF transmitters. *Radiation Protection Dosimetry*, doi:10.1093/rpd/ncm377; 2007.
- Danker-Hopfe H., Dorn H. Biological Effects of Electromagnetic Fields at Mobile Phone Frequencies on Sleep: Current State of Knowledge from Laboratory Studies. *Somnologie* 9: 192–198; 2005
- Frick *et al.* Comparison perception of singular transcranial magnetic stimuli by subjectively electrosensitive subjects and general population controls, *Bioelectromagnetics* 26:287-298; 2005
- Frick, U., Mayer, M., Hauser, S., Binder, H., Rosner, R., and Eichhammer, P. Entwicklung eines deutschsprachigen Messinstrumentes für "Elektrosmog-Beschwerden", *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 11, 103-113; 2006
- Gimsa J, Habel B, Schreiber U, van Rienen U; Strauss U, Gimsa U. Choosing electrodes for deep brain stimulation experiments – electrochemical considerations. *J. Neurosci. Meth.* 142:251-265; 2005
- Gimsa U, Igljic A, Fiedler S, Zwanzig M, Kralj-Igljic V, Jonas L, Gimsa J Actin is not required for nanotubular protrusions of primary astrocytes grown on metal nano-lawn. *Mol. Mem. Biol.* 24:243 – 255; 2007
- Gimsa U, Schreiber U, Habel B, Flehr J, van Rienen U, Gimsa J Matching geometry and stimulation parameters of electrodes for deep brain stimulation experiments – Numerical considerations. *J. Neurosci. Meth.* 150:212-227; 2006

- Gimsa U, Schreiber U, Habel B, Flehr J, van Rienen U, Gimsa J. Matching geometry and stimulation parameters of electrodes for deep brain stimulation experiments--numerical considerations. *J Neurosci Methods*. 150(2):212-27; 2006
- Hauser, S., Frick, U., Eichhammer, P., & Rehm J. Cognitive factors influencing symptom report on complaints allegedly related to electromagnetic fields: research strategies and results. In: C. del Pozo, D.Papameleti, P. Wie-demann, & P.Ravazzani (Eds.) Risk Perception and Risk Communication in EMF: Tools, Experiences and Strategies. Proceedings JRC/EIS-EMF Workshop, Ispra 13th July 2004. (pp. 66-75). Brussels: European Commission Directorate General Joint Research Centre, Institute for Consumer Health and Protection. 2006.
- Köster P, Sakowski J, Baumann W, Glock H-W, Gimsa J. A new expo-sure system for the *in vitro* detection of GHz field effects on neuronal networks. *Bioelectrochemistry*. 70(1):104-114; 2007
- Landgrebe M., Hauser S., et.al. Transkranielle Magnetstimulation zur biologischen Charakterisierung somatoformer Störungen am Beispiel der subjektiven Elektrosensibilität. *Nervenheilkunde* 25, 653-656; 2006.
- Landgrebe, M., S. Hauser, *et al.* Altered cortical excitability in subjectively electrosensitive patients: Results of a pilot study. *J Psychosom Res* 62: 283-288; 2007.
- Lantow M., Lupke M., Frahm J., Mattson M.O., Kuster N., Simko M. ROS release and Hsp70 expression after exposure to 1.800 MHz radiofrequency electromagnetic fields in primary human monocytes and lymphocytes, *Radiat. Environ Biophys*, DOI 10.1007/s00411-006-0038-3; 2006
- Lantow M., Schuderer, J., Hartwig C, Simko, M. Free Radical Release and HSP 70 Expression in two human immune-relevant cell lines after exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation, *Radiation Research* 165, 88-94; 2006
- Lantow M., Viergutz T., Weiss D.G., Simko, M. Comparative Study of Cell Cycle Kinetics and Induction of Apoptosis or Necrosis after Exposure of Human Mono Mac 6 Cells to Radiofrequency Radiation, *Radiation Research* 166, 539-543; 2006
- Mann S. RAPPORTEUR'S REPORT Radiation Protection Dosimetry Advance Access published on September 23, 2007. doi:10.1093/rpd/ncm372 German Mobile Telecommunication Research Programme International Workshop on Final Results of Dosimetry Projects Radiation Protection Dosimetry doi:10.1093/rpd/ncm392; 2007
- Maswiwat K, Holtappels M, Gimsa J (2007) Optimizing the electrode shape for electrorotation chambers. *Journal of Applied Membrane Science and Technology Science Asia* 33: 61-67
- Maswiwat K, Holtappels M, Gimsa J. On the field distribution in electrorotation chambers - Influence of electrode shape. *Electrochimica Acta* 51:5215-5220; 2006.
- Maswiwat K, Wachner D, Warnke R, Gimsa J. Simplified equations for the transmembrane potential induced in ellipsoidal cells of rotational symmetry. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 40:914-923; 2007.
- Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Brüggemeyer H, Phillipp J, Spix C, Blettner M, Schüz J. Leukämie bei Kindern in der Umgebung von Sendestationen des Rundfunks – Anforderungen an das Studiendesign. *Umweltmed Forsch Prax*, 12: 213-223; 2007
- Neitzke HP, Osterhoff J, Peklo K, Voigt H. Determination of exposure due to mobile phone base stations in an epidemiological study. *Radiat Prot Dosimetry* doi:10.1093/rpd/ncm371; 2007.
- Radon K, Spiegel H, Meyer N, Klein J, Brix J, Wiedenhofer A, Eder H, Praml G, Schulze A, Ehrenstein V, von Kries R, Nowak D. Personal Dosimetry of Exposure to Mobile Telephone Base Stations? An Epidemiologic Feasibility Study Comparing the Maschek Dosimeter Prototype and the Antennessa DSP-090 System, *Bioelectromagnetics* 27:77-81; 2006.
- Reinhardt T., Bitz A., El Ouardi A., Streckert J., Sommer A., Lerchl A., and Hansen V. Exposure set-ups for *in vivo* experiments using radial waveguides Radiation Protection Dosimetry Advance Access published on September 28,. doi:10.1093/rpd/ncm370; 2007
- Samaras T, Christ A, Kligenböck A, Kuster N. Worst-case temperature rise in a one-dimensional tissue model exposed to radiofrequency radiation", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(3):492-496; 2007
- Schelkshorn S., Tejero S. and Detlefsen J. Exposure setup for animal experiments using a parabolic reflector, *Radiation Protection Dosimetry*. doi:10.1093/rpd/ncm329; 2007
- Schlehofer B, Schlaefer K, Blettner M, Berg G, Böhler E, Hettlinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Schüz J, Interphone Study Group. Environmental risk factors for sporadic acoustic neuroma (Interphone Study Group). *Eur J Cancer* 43:1741-7, 2007.

- Schmid G, Überbacher R, Samaras T, Jappel A, Baumgartner W-D, Tschabitscher M, Mazal PR High-resolution numerical model of the middle and inner ear for a detailed analysis of radio frequency absorption. *Phys. Med. Biol.* 52: 1771–1781; 2007.
- Schmid G, Überbacher R, Samaras T, Tschabitscher M, Mazal PR. The dielectric properties of human pineal gland tissue and RF absorption due to wireless communication devices in the frequency range 400-1850 MHz. *Phys Med Biol.* 52(17):5457-68; 2007.
- Schmid G., Lager D., Preiner P., Überbacher R., and Cecil S.) Exposure caused by wireless technologies used for short-range indoor communication in homes and offices, *Radiation Protection Dosimetry* doi:10.1093/rpd/ncm245; 2007
- Schmid G., Preiner P., Lager D., Überbacher R., and Georg R. exposure of the general public due to wireless lan applications in public places, *Radiation Protection Dosimetry* doi:10.1093/rpd/ncm320; 2007
- Schmid G., Überbacher R., and Samaras T. Radio frequency-induced temperature elevations in the human head considering small anatomical structures. *Radiation Protection Dosimetry*, doi:10.1093/rpd/ncm335; 2007
- Schmidt-Pokrzywniak A, Jöckel KH, Bornfeld N, Stang A. Case-control study on uveal melanoma (RIFA): Rational and design. *BMC Ophthalmology*; 4:1-9; 2004.
- Schubert M., Bornkessel Ch., Wuschek M., and Schmidt P. Exposure of the general public to digital broadcast transmitters compared to analogue ones, *Radiation Protection Dosimetry Advance Access* published on July 6, 2007. doi:10.1093/rpd/ncm337; 2007.
- Schüz J, Böhler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schläefer K, Wahrendorf J, Kunna-Grass K, Blettner M. Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany), *Am. J. Epidemiol.* 63(6):512-520; 2006
- Schüz J, Böhler E, Schlehofer B, Berg G, Schläefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M. Radio frequency electromagnetic fields emitted of DECT cordless phones and risk of glioma and meningioma (Interphone study group, Germany), *Radiat. Res.* 166: 116-119; 2006
- Simeonova M, Gimsa J. Dielectric anisotropy, volume potential anomalies and the persistent Maxwellian equivalent body. *J. Phys.: Condens. Matter*, 17(50): 7817 - 7831; 2005
- Simeonova M, Gimsa J. The influence of the molecular structure of lipid membranes on the electric field distribution and energy absorption. *Bioelectromagnetics.* 27(8) 652 – 666; 2006
- Simkó M, Hartwig C, Lantow M, Lubke M, Mattsson MO, Rahman Q, Rollwitz J. Hsp 70 expression and free radical release after exposure to non-thermal radio-frequency electromagnetic fields and ultrafine particles in human Mono Mac 6 cells, *Toxicology Letters* 161, 73-82; 2006.
- Sommer A.M., Lerchl, A. The risk of lymphoma in AKR/J mice does not rise with chronic exposure to 50 Hz magnetic fields (1  $\mu$ T and 100  $\mu$ T), *Radiation Research* 162, 194-200; 2004
- Sommer A.M., Streckert, J., Bitz, A.K., Hansen, V., Lerchl, A. Lymphoma Development in Mice Chronically Exposed to UMTS-Modulated Radiofrequency Electromagnetic Fields, *Radiation Research* 168, 72-80; 2007.
- Sommer A.M., Streckert, J., Bitz, A.K., Hansen, V., Lerchl, A. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice, *BMC Cancer* 4:77, URL <http://www.biomedcentral.com/1471-2407/4/77> 2004
- Sommer AM, Bitz AK, Streckert J, Hansen VW and Lerchl A. Lymphoma development in mice chronically exposed to UMTS-radiofrequency electromagnetic fields, *Radiat. Res.*, 168:72-80; 2007
- Sommer, AM., Lerchl, A. 50 Hz magnetic fields of 1mT do not promote lymphoma development in AKR/J mice, *Radiation Research* 165, 343-349; 2006
- Stang A, Schmidt-Pokrzywniak A, Lehnert M, Parkin DM, Ferlay J, Bornfeld N, Marr A, Jöckel KH. Population-based incidence estimates of uveal melanoma in Germany: Supplementing cancer registry data by case-control data. *Eur J Cancer Prev. Apr*;15(2):165-170; 2006
- Sudsiri J, Wachner D, Gimsa J. On the temperature dependence of the dielectric membrane properties of human red blood cells. *Bioelectrochemistry.* 70(1):134-140; 2007.
- Sudsiri J, Wachner D, Simeonova M, Donath J, Gimsa J. Effect of temperature on the electrorotation behavior of human red blood cells. *Jurnal Teknologi (Malaysia)* 44(F):1-12; 2006.
- Sukhotina I, Streckert JR, Bitz AK, Hansen V, Lerchl A. 1800 MHz electromagnetic field effects on melatonin release from isolated pineal glands, *J. Pineal Res.* 40: 86-91; 2006.
- Tejero, S. , Schelkshorn, S. and Detlefsen, J. Concept for the controlled plane wave exposure for animal experiments using a parabolic reflector, *Advances in Radio Science* 3, 233-238; 2005

van Rienen U, Flehr U, Schreiber U, Schultze U, Gimsa U, Baumann W, Weiss DG, Gimsa J, Benecke R, H.-W. Pau H-W. Electro-Quasistatic Simulations in Bio-Systems Engineering and Medical Engineering. Advances in Radio Science. Vol. 3 pp.39–49; 2005.

## KONGRESSBEITRÄGE

- Ahlers MT, Tillmans F, Bolz T, Bahr A, Friedl T, Ammermüller J. Effects of electromagnetic field exposure on retinal ganglion cell responses. European Retina Meeting 2007, Frankfurt, Germany; 2007
- Ahlers MT, Tillmans F, Deister F, Bolz T, Bahr A, Ammermüller J. Effects of GSM 900 electromagnetic field exposure on retinal ganglion cell responses. Göttingen Meeting of the German Neuroscience Society; 2007
- Bahr A, Dorn H, Bolz T. Exposure system for stimulating GSM and WCDMA mobile phone usage. 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 90; 2005
- Berdiñas V., Torres, Fröhlich J., Klingeböck A., Nikoloski N., and Kuster N. Relevant exposure parameters for the comparison of animal studies. International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), Budapest, Hungary, p. 69; 2003
- Berg G, Böhler E, Schlehofer B, Blettner M. Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für eine Berufskohorte, die durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert ist. 50. Jahrestagung der GMDS, 12. Jahrestagung der DAE, Freiburg, 2005
- Berg G, Schütz J, Schlehofer B, Böhler E, Schläfer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M. Einflussfaktoren für die Responserate in Fall-Kontroll Studien – ein Vergleich über Zeitreihen und Studienzentren, Erfahrungen aus der INTERPHONE Studie. 50. Jahrestagung der GMDS, 12. Jahrestagung der DAE, Freiburg, 2005
- Billaudel B, Taxile M, Mayeur L, Ladeveze E, Laclau M, Haro E, Leveque P, Ruffie G, Poulliet de Gannes F, Lagroye I, Veyret B. Effects on the brains of Wistar-HAN rats exposed head-only to GSM-1800 or UMTS signals: preliminary results. 28th BEMS Annual Meeting, Cancun, Mexico, Abstract Book p 162; 2006.
- Billaudel B, Taxile M, Mayeur L, Ladeveze E, Laclau M, Haro E, Leveque P, Ruffie G, Poulliet de Gannes F, Lagroye I, Veyret B. Effects of a 4-week chronic head only exposure to GSM 1800 or UMTS signals on the brain of Wistar-HAN Rats, 8th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Bordeaux, April 10-13, Abstracts 127, P43; 2007
- Billaudel B, Taxile M, Mayeur L, Ladeveze E, Laclau M, Haro E, Leveque P, Ruffie G, Poulliet de Gannes F, Lagroye I, Veyret B. Effects on brain dark neurons of Wistar-HAN rats exposed head only to GSM-1800 or UMTS signals. 29th Annual Meeting of the BEMS, Kanazawa, Japan, Abstract book p 161, 2007
- Bitz A, Reinhardt T, El Ouardi A, Streckert J, Franke H, Zimmer J, Hansen V. Exposure of cell monolayers and hippocampal slice cultures inside radial waveguides. 28th BEMS Annual Meeting, Cancun, Mexico, 273-4; 2006.
- Bitz AK, Streckert J, Sommer AM, Lerchl A and Hansen VW. 2 GHz- exposure of non-restrained AKR/J mice in a slightly over-moded radial waveguide. 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 139; 2004
- Bornhausen M, Okorn S, Stangassinger M, Erhard M, Stohrer M, Detlefsen J, Schelkshorn S, Eberle J and Petrowicz O. Are there any health consequences of chronic exposure to GSM- or UMTS-fields? Research Project on eventual cognitive, immunological and blood-brain-barrier effects in three generations of rats. 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 260; 2004.
- Bornhausen M, Stangassinger M, Erhard M, Stohrer M, Detlefsen J, Schelksdhorn S, Eberle J, Petrowicz O. Research project on the detection and analysis of alleged cognitive, biochemical and immunological consequences of chronic exposure of three generations of rats to electromagnetic GSM- and UMTS-fields of mobile communication. International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 2003, Budapest, Hungary, p 62; 2003.
- Bornkessel C., Schubert M. Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition durch Mobilfunk-Basisstationen, EMV Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Düsseldorf, Germany; 2006
- Bornkessel C., Schubert M., Wuschek M., and Schmidt P. Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von GSM und UMTS Basisstationen, Adv. Radio Sci., 5, 163–168, 2007
- Bornkessel C., Wuschek M. Exposure measurements of modern digital broadband radio services”, GeMiC 2006 German Microwave Conference, Karlsruhe, Germany, 2006

- Danker-Hopfe H, Dorn H, Anderer P. Do high frequency electromagnetic fields of the GSM and the UMTS standard for mobile communication affect sleep structure and/or sleep spindles? World Federation of Sleep Research and Sleep Medicine Societies, Cairns; 200)
- Danker-Hopfe H, Bahr A, Dorn H. Do high frequency electromagnetic fields of the GSM and/or the UMTS standard for mobile communication affect sleep? BEMS, Kanazawa, Japan; 2007.
- Danker-Hopfe H, Dorn H. Do GSM and/or UMTS electromagnetic fields have an effect on sleep? Abstracts 18th Cong. Europ. Sleep Soc, J. Sleep Res. Vol. 15 Suppl. 1, pp 1-253; 2006
- Danker-Hopfe H, Dorn H. Laboratory study: Studies of the effects of exposure to electromagnetic fields emitted from mobile phones on volunteers, FGF Workshop: Sleep Disorders, EEG-Changes, Altered Cognitive Functions – Is there a connection with the exposure to mobile communication RF fields?, Stuttgart; 2007
- Dorn H, Danker-Hopfe H. Field Study: Investigation of sleep quality in persons living near a mobile base station – Experimental study on the evaluation of possible psychological and physiological effects under residential conditions FGF Workshop: Sleep Disorders, EEG-Changes, Altered Cognitive Functions – Is there a connection with the exposure to mobile communication RF fields?, Stuttgart; 2007
- Driessen S, Meyer M, Wienert R, Silny J: Representation of the literature on the effects of electromagnetic fields. 27th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, June 10-14, Dublin, Ireland; 2005
- El Ouardi A, Streckert J, Reinhardt T, Bitz A, Engel J, Münkner S, Hansen V. RF-exposure of cells *in vitro* using finlines for three different frequency bands. 8th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Bordeaux, Abstract S-2-3 p 32; 2007.
- Franke H, Streckert J, Bitz A, Hansen V, Young P. Differential gene expression at the RF-EMF exposed BBB *in vitro*, 28th BEMS Annual Meeting, Cancun, Mexico, 303-4; 2006.
- Franke H, Hansen V, Bitz A, Young P. German Mobile Telecommunication Research Programme: “Gene regulation at the BBB *in vitro* following RF-EMF Exposure. 29th Annual Meeting of the BEMS, Kanazawa, Japan, Abstract book p 106, 2007
- Frick U., Landgrebe M., Hauser S., Hajak G., Eichhammer P. Perceptive and motor response thresholds during single pulse transcranial magnetic stimulation of subjectively electrosensitive subjects as compared to controls – a replication study. 4th International Workshop on Biological Effects of EMFs, Crete, Greece; 2006.
- Fröhlich J., Berdiñas V., Ladbury J.M., Wilson P.F., and Kuster N. *In vivo* exposure systems for use in studies with large numbers of rodents at cellular telephone frequencies. 25th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, Maui, Hawaii, p. 147; 2003
- Fröhlich J., Chavannes N., and Kuster N. Ratio of spatial peak and whole body SAR dependent on frequency and polarization in animals and humans. XXVII General Assembly of URSI, Maastricht, Netherlands, 2002.
- Fröhlich J., Chavannes N., Nikoloski N., and Kuster N. Rigorous analysis of EM absorption in high resolution anatomical models using FDTD. AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, San Antonio, Texas, USA, p. 50; 2002
- Haberland L, Simeonova M, Alsbach W, Brandt S, Dubois W. Analysis of literature (abstracts) on biological effects of EMF in the frequency range 2 – 3 GHz. 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book; 2004
- Köster P, Scheinemann A, Baumann W, Glock H-W. A new exposure system for the *in vitro* detection of GHz field effects on neuronal networks. Joint Meeting Bioelectrochemistry, Coimbra; 2005
- Landgrebe M., Hauser S., Langguth B., Barta W., Rosengarth K., Greenlee M., Frick U., Hajak G., Eichhammer P. Dysfunctional cognitive strategies in subjectively electrosensitive patients – a fMRI study. 4th International Workshop on Biological Effects of EMFs, Crete, Greece; 2006.
- Lantow M, Hartwig C, Maercker C, Simko M. Free radical production, Hsp70 expression and protein profiling after 1800 MHz RF exposure in different immune relevant cells. 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 126; 2005
- Lantow M, Simkó M. 1800 MHz RF-EMF do not induce free radical production in different immune relevant cells. 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 226; 2004
- Leitgeb N. Subjective sleep impairment in the vicinity of mobile phone base stations, 8th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), Bordeaux; 2007.
- Lerchl A, Sommer AM. Consistent outcome of exposure of pre-leukaemic AKR/J mice to magnetic (50 Hz, 1, 100 and 1000  $\mu$ Tesla) and electromagnetic fields (900 MHz, 1966 MHz, 0.4 W/kg SAR). 8th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Bordeaux, April 10-13, Abstract S-7-5; 2007.

- Merzenich H, Schmiedel S, Blettner M, Brüggemeyer H, Philipp J, Schüz J. Childhood leukaemia in relation to radiofrequency electromagnetic fields emitted from television and radio broadcast transmitters: epidemiological aspects of a case-control study in Germany. 8th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Bordeaux, Abstract S-5-4, p 53; 2007.
- Münkner S, El Ouardi A, Streckert J, Hansen J, Engel J. Ionic currents through Ca<sup>2+</sup> channels in mature mouse Inner Hair Cells under mobil phone field exposure. Göttingen Meeting of the German Neuroscience Society; 2007
- Neitzke H.-P., Osterhoff J., Peklo K., Voigt H. Ermittlung der Hochfrequenz-Expositionen durch Mobilfunk-Basisstationen in epidemiologischen Studien. 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 2004
- Schmid G, Lager D, Preiner P. Exposure assessment in the electromagnetic fields of indoor-used modern wireless communication devices. 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 478; 2005
- Schmid G, Pipal L, Widhalm K, Tschabitscher M. Feasibility and reasonable endpoints of investigations regarding a possibly higher RF-exposure risk for children. 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 543; 2005
- Schmid G., Cecil S., Ueberbacher R., Georg R.: Numerical investigation of field elevations due to mobile phone usage in transportation means compared to free space conditions, The Bioelectromagnetics Society 29th Annual Meeting, 2007
- Schmidt –Pokrzywniak A, Jöckel KH, Bornfeld N, Marr A, Stang A. Nonresponse-Analyse der RIFA Fall-Kontroll Studie. 50. Jahrestagung der GMDS, 12. Jahrestagung der DAE, Freiburg, 2005
- Schubert M., Bornkessel C., Wuschek M., and Schmidt P. Vergleich der Exposition der Bevölkerung durch digitale und analoge Rundfunksender“, Adv. Radio Sci., 5, 163–168, 2007
- Sommer AM, Lerchl A, Bitz A, Streckert J, Hansen V. UMTS-modulated electromagnetic fields do not influence the development of lymphoma in female AKR/J mice. 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 177; 2005
- Sommer AM, Lerchl A, Bitz A, Streckert J, Hansen V. *et al.* No effect from 900 MHz electromagnetic fields on the spontaneous development of lymphoma in female AKR/J Mice. 26 Annual Meeting of the BEMS, 2004, Washington DC, USA, Abstract Book p 258; 2004
- Sommer AM, Lerchl A, Bitz A, Streckert J, Hansen V. UMTS-modulated electromagnetic fields do not affect haematological or histological parameters in Lymphoma-prone mice. 28th BEMS Annual Meeting, Cancun, Mexico, Abstract Book p 323 PB-98; 2006.
- Sudsiri J, Wachner D, Gimsa J. Effect of temperature on the electrorotation behavior of human red blood cells: Implication for a transition in ion transport around 15°C. Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Abstract Book; 2005
- Tejero S, Schelkskorn S, Detlefsen J, Okorn S, Bornhausen M, Petrowicz O Setup for the controlled plane wave exposure at GSM and UMTS bands for *in vivo* experiments using a parabolic reflector. 27 Annual Meeting of the BEMS, 2005, Dublin, Ireland, Abstract Book p 483; 2005
- Tejero S., Schelkshorn S., Detlefsen J. Compact setup for an homogeneous plan-wave exposure for in-vivo experiments“, GeMiC 2006 German Microwave Conference, Karlsruhe, Germany, 2006
- Ueberbacher R, Schmid G, Tschabitscher M. New high resolution numerical model of inner ear organs for RF-dosimetry - preliminary results in the 900 MHz - 10 GHz range. BEMS, Cancun, Mexico; 2006
- Voigt H., Neitzke H.-P., Osterhoff J., Peklo K. Hochfrequenz-Expositionen in Wohnungen in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen“, 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 2004
- Wienert R, Dechent D, Klubertz F, Silny J (2003): Internet portal and Information System on the biological effects of electro-magnetic fields „EMF-portal“. Proceedings 25th Annual Meeting of the Bioelectromagnetic Society, Maui, Hawaii, p. 403; 2003
- Wienert R, Driessen S, Meyer M, Klubertz F, Silny J: EMF-Portal: Benefit for information retrieval on the biological effects of electromagnetic fields. 27th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, June 10-14, Dublin, Ireland; 2005
- Wienert R, Klubertz F, Driessen S, Dechent D, Silny J. EMF-Portal offers up-to-date information on published scientific studies. BEMS Abstract Book 2006, 28th Annual Meeting Bioelectromagnetics Society, 134 – 135, (Session PA-129), Meeting Abstract; 2006
- Wuschek M., Bornkessel C., Schubert M. Hochfrequente Immissionen durch digitale Tonrundfunk- und Fernsehsender (DAB, DVB-T)“, EMV 2006 Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Düsseldorf, Germany, 2006

## SONSTIGE

- Gimsa J. Klassifizierung möglicher Wirkungsmechanismen von EMF – ein Beitrag zu molekularen Hochfrequenz-Antennen. FGF Newsletter, 4: 50 – 52; 2003
- Gimsa U, Scheunemann A, Wachner D, Sakowski J, Köster P, Gimsa J. Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf zellulärer Ebene - eine Literaturstudie. Shaker Verlag, Aachen. ISBN-10:3-8322-5251-7; 2006
- Gimsa U, Kralj-Iglic V, Iglic A, Fiedler S, Zwanzig M, Jonas L, Gimsa J. Basic cell-cell and cell-surface interactions in liposome and cellular systems. in: A. Leitmannova Liu (ed.) Advances in planar lipid bilayers and liposomes. Elsevier. Vol. 5, 229-251; 2006
- Fischer R. Entwicklung und Test von Hochfrequenz-Expositionseinrichtungen im GHz-Bereich. Diplomarbeit am Institut für Allgemeine Elektrotechnik und am Lehrstuhl für Biophysik an der Universität Rostock; 2006
- Wienert R, Driessen S. Internet-Informationssystem über die Wirkungen elektromagnetischer Felder (EMF-Portal). Newsletter, FGF-Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (Hrsg.) 13. Jahrgang, Heft 2/2005: 4-13; 2005
- Wienert R, Driessen S, Silny J. EMF-Portal – Internet Informationssystem. Posterpräsentation Bremer Forum für Wissenschaftsjournalismus, Messe Centrum Bremen, 28.-30.11.2005; 2005



# **German Mobile Telecommunication Research Programme**

**Health Risk Assessment of Mobile Communications  
(State of May 15, 2008)**

**Department  
Radiation Protection and Health**

# CONTENTS

<b>1.</b>	<b>Summary evaluation of the results and conclusion regarding radiation protection</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Background, objective and processes of the DMF</b>	<b>4</b>
2.1	Identification of research need and programme definition .....	5
2.2	Implementation .....	6
2.3	Concomitant procedures.....	8
2.4	Assessment process of findings .....	9
<b>3.</b>	<b>Summary of findings on acute effects</b>	<b>9</b>
3.1	State of knowledge at the beginning of the DMF.....	9
3.2	Findings .....	10
3.3	Open questions.....	11
<b>4.</b>	<b>Summary of findings on action mechanisms</b>	<b>11</b>
4.1	State of knowledge at the beginning of the DMF:.....	11
4.2.	Findings .....	12
4.3	Open questions.....	13
<b>5.</b>	<b>Summary of findings on chronic effects</b>	<b>13</b>
5.1	State of knowledge at the beginning of the DMF.....	13
5.2	Findings .....	13
5.3	Open questions.....	14
<b>6.</b>	<b>Summary of findings on dosimetry</b>	<b>14</b>
6.1	State of knowledge at the beginning of the DMF.....	14
6.2	Findings .....	15
6.3	Open questions.....	16
<b>7.</b>	<b>Summary of findings on risk communication</b>	<b>16</b>
7.1	State of knowledge at the beginning of the DMF.....	16
7.2	Findings .....	16
7.3	Open questions.....	17
	Annex 1: Minutes (see German part; German language only)	
	Annex 2: Bibliography (see German part)	
	Annex 3: Research projects DMF (see German part; German language only)	
	Annex 4: Scientific publications from the DMF (see German part)	

# 1. SUMMARY EVALUATION OF THE RESULTS AND CONCLUSION REGARDING RADIATION PROTECTION

The German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF) was carried out between 2002 and 2008 under the leadership of the Federal Office for Radiation Protection (BfS). Indications of biological effects observed in field intensities below the currently applied limit values were the starting point, which brought up the question on the adequacy of the current limit values in regard to the protection against adverse health effects caused by electromagnetic fields. As it was not possible at the time to independently verify the experiments which resulted in such findings, repeat studies constituted a substantial part of the programme. Concurrently, epidemiological studies provided isolated indications that mobile communications may pose an increased health risk to the general public. The DMF programme looked into these indications by means of epidemiological studies with an improved research design. During the setting up of the programme, particular emphasis was placed on transparency and public consultation. The conceptual design of the research programme focused on interdisciplinary cooperation, especially between technical, epidemiological and experimental projects. The best possible transfer of technical know-how for the conceptual design and the research conduct on impact research was thereby guaranteed. Furthermore, the programme succeeded in creating a standardisation of the technical conceptual design and the conduct of relevant investigations. For the first time, the German Mobile Telecommunication Research Programme focused on questions of risk communication while working on scientific-technical projects.

A financial volume of 17 million Euro was available to fund a total of 54 research projects in the fields of biology, dosimetry, epidemiology and risk communication so as to investigate relevant questions on potential adverse health effects and the perception of high frequency electromagnetic fields in society and on risk communication. The DMF was able to contribute significantly towards an improved risk assessment and communication with the public.

In dosimetry, the research focused mainly on three objectives: the development of measurement and calculation methods to determine the exposure of the public, the determination of actual everyday exposure to electromagnetic fields as well as the solution to dosimetric problems during the exposure of research subjects in laboratory studies, and the classification of exposure in epidemiological studies. It proved that everyday exposure to electromagnetic fields is subject to significant temporal and spatial fluctuations. The increased use of wireless technology leads to a constant rise in exposure of the public. These results are corroborated by measuring programmes in several federal states in Germany and by the Federal Network Agency. Nevertheless, the exposure of the public to the investigated mobile communication frequencies is on average well below the limit values. Exposure values approaching these limits can only be reached when using sources close to the body, such as mobile telephones.

As part of the research in the areas of biology and epidemiology, possible acute and chronic health effects of mobile communication fields were investigated.

The research projects, carried out on cell cultures in order to investigate possible action mechanisms, primarily aimed at the "athermic" area below the limit value. This research approach is of high importance, because through the knowledge of action mechanisms, detection and in-depth study of the specific impacts caused by high frequency electromagnetic fields on the organism can be improved. Several cellular parameters which are related to, among others, hormonal processes, the metabolism and different functions as well as the reaction of cells towards external influences are observed. In addition, the impact of electromagnetic fields on the acoustic and visual system was explored.

Studies on cells related to the immune system showed no biological significant effects of high frequency electromagnetic fields on the scrutinised endpoints. The same applies to the retina as well as the hearing cell activity. In general, the number of indications of possible "athermic" effects, as discussed at the beginning of the DMF programme, did not increase. Changes in the gene expression in a cell culture model of the blood-brain-barrier, observed in one case, do not call into question the overall assessment. However, they give reason to recommend further clarifications of this point.

Acute health effects were primarily analysed by means of clinical studies. Those studies centred on the question whether high frequency electromagnetic fields affect sleep, cognitive performance, memory or the processing of visual and acoustic stimuli. Overall, this was not the case and this was confirmed by epidemiological studies, which showed no connection between the measured electromagnetic fields from mobile phone base station and sleep disorders, headaches, general health complaints as well as mental and physical life quality.

To investigate possible impacts of a chronic exposure to high frequency electromagnetic fields, long-term studies were carried out on animals, exploring the blood-brain-barrier, the induction of tinnitus, different

cancers as well as reproduction and development. These studies did not yield indications of an “athermic” impact due to high frequency electromagnetic fields.

Studies on several generations of animals do not support the hypothesis of a particular sensitivity during early developmental stages. Nevertheless, the question whether the health risk as a result of long-term exposure is higher for children than for adults, either due to age differences or due to a longer lifetime exposure, could not be answered conclusively by the DMF studies. This question remains an open issue and must be clarified in medium-term investigations.

Epidemiological studies so far have not found an increased brain cancer risk for mobile phone users. The present findings also show no increased risk to develop an uveal melanoma. A study on large radio and television transmitters also found no indications of connection between field intensities and an increased risk of childhood leukaemia. The question of long-term effects (a period of use of more than 10 years) remains an open issue, due to the long latency periods for cancer and the comparably short-term use of mobile communication technology by the general public.

Regarding the question of electromagnetic hypersensitivity, increased evidences demonstrated that there is no causal connection between exposure to electromagnetic fields and unspecific symptoms such as sleeping disorders, concentration disruptions or headaches.

Discussions on the topic of “Mobile communication and health”, carried out by the press and the public over the last few years, have been highly passionate. To some degree, this has significantly impeded the factual communication on technical and health aspects of electromagnetic fields. Several research projects looked further into the perception of mobile communication in society and found improvement possibilities for information and communication. It became clear that the mobile communication and health topic does not play a major role compared to other possible health risks for the majority of the public. Within certain groups, however, a major concern about electromagnetic fields as well as a subjectively and strongly perceived impairment through electromagnetic fields, do exist. Information and communication offers must be tailored to the information need of specific groups and the transfer modality needs to take into account the information behaviour and information processing of each group. This is the only practical way for the addressed group to perceive the information and use it for opinion-forming.

The DMF's findings give no reason to question the protective effect of current limit values. However, as some studies found minimal physiological reactions and indications that children could be more exposed than adults, along with the constantly open question on health risks from long-term exposure for adults and in particular for children, make it necessary to continue dealing carefully with wireless communication technologies. It is indispensable to retain the appropriate precautionary measures formulated by the BfS and the German Commission for Radiation Protection (SSK, 2006), especially with regard to children and young adults.

The principle of optimisation in relation to radiation protection should be applied when operating actual wireless communication technologies and developing new ones. The remaining uncertainties in risk assessment must be further curbed by way of purposeful research. Future information measures for the general public should provide a clear contextual knowledge and show possible scope of action for the individual. In this view, statements on scientific findings and knowledge limitations must be formulated in the simplest and the most precise language possible and elude complexity.

## **2. BACKGROUND, OBJECTIVE AND PROCESSES OF THE DMF**

Between 2002 and 2008, the German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF) was carried out under the leadership of the Federal Office for Radiation Protection (BfS). The programme had a total financial volume of 17 million Euro and was partially funded through the BMU's budget and the four German Mobile communication network operators. Procedures implemented by the BfS prior to the programme guaranteed that neither network operators nor third parties had an insight into or influence on the execution and assessment of the programme. The DMF programme supported also the WHO's international EMF project and thereby contributed towards an international improvement of the data available for risk assessments.

It was the DMF's objective to give scientifically sound answers to open questions on potential health risks as well as basic biological effects and mechanisms of high frequency electromagnetic fields used in mobile communication and, therefore, to contribute towards reducing uncertainties in this area. Eventually, the obtained results serve to review the existing radiation protection measures. The studies, which researched into existing indications of biological effects below current limit values, were specially designed with this end in view.

The phenomenon of electromagnetic hypersensitivity was further clarified. Especially, attempts were made to find possible causes for the occurrence of this phenomenon and to enable a better characterisation of those affected. A further focus was put on a closer investigation of the risk perception by society and finding possibilities of improved risk communication. The programme's intention was not to prove the technologies' innocuousness; for such a proof is scientifically unachievable.

It was aimed at obtaining findings which bear significance for the complete telecommunication frequency spectrum and ideally including the assessment of the effects brought by future technological developments. The programme therefore covered deliberately a broad frequency range, and, in some studies, went beyond areas currently used by GSM and UMTS.

The focus of research was on:

- Action mechanisms of high frequency electromagnetic fields;
- Effects on animals and human beings;
- Determination of exposure;
- Risk communication.

The award procedure and the execution of the projects were based on the BMU's Environmental Research Plan regulations. A special emphasis was placed on the transparency of the procedure and the independence of research. All the relevant fundamental key points were therefore determined in the beginning.

## **2.1 IDENTIFICATION OF RESEARCH NEED AND PROGRAMME DEFINITION**

In 2001, the Commission for Radiation Protection (SSK) identified open scientific questions on potential adverse health effects caused by electromagnetic fields and recommended to the BMU to provide solutions by intensifying its research efforts (SSK 2001). Thereupon, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) organised an expert forum in June 2001, involving a broad range of scientists, relevant authorities and a number of other organisations. The BfS and BMU developed a research programme based on this expert forum as well as on the SSK's recommendation and the recommendation on research needs published by the World Health Organisation (WHO). This programme became part of the BMU Environmental Research Plan.

After the network operators obligingly allocated funds promised as part of the voluntary commitment to the DMF's research, the initial research spectrum of the programme was broadened accordingly. In April 2003, the BfS developed proposals for further research projects. Together with a statement on the subject compiled by the SSK, these research proposals were published and put up for discussion on the Internet. The objective was to incorporate the widest range of opinions possible in the further development of the mobile telecommunication research programme. Any constructive comment, received on the overall programme, its content, priorities and possible necessary modifications and additions, were published on the German Mobile Telecommunication Research Programme's website: (<http://www.emf-forschungsprogramm.de>). In September 2003, a second expert forum entitled "Research projects on the effects of electromagnetic fields of mobile telecommunication" took place in Berlin. Purpose of this forum was to present the newly drafted project proposals as well as the concluding discussion of the German Mobile Telecommunication Research Programme's content. Representatives of the government, the scientific and business worlds, the environment and consumer groups as well as interest groups affected by the topic attended this expert forum. Projects from each subject area were presented together with the comments from the public consultation. Topics, for which a consensus between the BfS proposal, the SSK statement and the comments by the public had not been reached, were put up for discussion. Following the forum, participants were given the opportunity to cast a vote outlining their justified opinion on the priorities for each project via e-mail. The result and analysis of this e-mail vote was published as an annex to the minutes of the second expert forum (Kreuzer *et al.* 2004).

The analysis of all contributions was summarised by the BfS. They were incorporated in the definition of the overall programme, which was also published on the German Mobile Telecommunication Research Programme's website. During the course of the programme, small changes were necessary (e. g. certain research questions proved to be unfeasible with the DMF's constraints), and scientific questions, which had to be dealt with on short notice, were raised. A total of 54 individual projects were carried out (annex 3), some of which can be classified as addenda to main studies.

## 2.2 IMPLEMENTATION

The BfS took overall responsibility for the implementation of the research programme. The procedures applied were based on the services regulations of the environmental research plan (UFO plan). Particular emphasis was placed on the transparency of the procedure and a broad discussion of the results.

### Time schedule / programme structure

The DMF was designed as an overall project. A necessary consultation on an expansion of the existing research programme in 2003 resulted in many projects starting only in 2004. This means that some DMF studies cannot be completed within the programme's overall timeframe. The financing broke new ground: it included funds from the UFO plan as well as from the four German network operators, while the BfS flexibly distributed funds over individual projects. The application of funds was neither reported to researchers, network operators nor other third parties. With respect to the actual funding of individual projects, the BfS functioned as a "firewall".

### Expert workshops

Expert workshops were organised as part of the DMF to define contents and discuss findings with a knowledgeable public.

During the first expert workshop in June 2001, the existing research need and the urgency of each topic was discussed (BfS-Script 25/2002).

The second expert workshop in September 2003 was used to discuss the expansion of the research framework as a result of the network operator's financial contribution and to define the DMF's content (BfS-Script 1/2004).

The third expert workshop, which included researchers, external scientists and the members of the Round table (see Round table "DMF"), was conducted in Spring 2005. During the workshop, findings available from the DMF at this point as well as results from international projects were processed and some research projects modified. ([http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/tagungsbericht\\_3fg.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/tagungsbericht_3fg.html)).

The fourth expert workshop took place in June 2008, featuring national and international participation and a conclusive assessment of the DMF's results.

In addition to the comprehensive public expert workshop, a range of topic-centred international expert workshops covering individual aspects of the programme were held. Their objective was to discuss the current state of the projects with researchers and international experts.

The international expert workshop on dosimetry took place within the BfS Neuherberg in July 2006. It focused on research projects aimed at the determination of everyday exposure to electromagnetic fields.

The exposure through new technologies (e. g. digital radio and television, WLAN, wireless DECT telephones) was analysed, in addition to mobile telecommunication technology. It was therefore able to cover a wide range of technical applications using electromagnetic fields that play an important role in everyday life. Furthermore, the contributions of dosimetry to the biological projects within the DMF were discussed.

The October 2006 international expert workshop on risk communication and risk perception projects was held within the BfS Neuherberg. It focused on the research projects, which looked into the perception of mobile communication by society, the risk perception and the possibilities of improved risk communication. It particularly focused on the possibilities of a practical implementation of the project findings, in addition to dealing with scientific findings.

The expert workshop on "acute health effects" took place in December 2006. This international expert workshop was focussed on the question of possible acute health effects caused by the high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunication. The debated projects tackled the topic in epidemiological studies as well as in laboratory. All essential complaints voiced by affected persons in connection with mobile communication were included in the scope of investigated symptoms. The impact on sleep was intensively investigated. Particular attention was paid to hypersensitive persons.

The international expert workshop on action mechanisms was conducted in May 2007, focusing on research projects, which dealt with the impact of high frequency electromagnetic field of mobile telecommunication on the cellular and sub-cellular level. The endpoints investigated in those studies include e. g. cell function, influences on melatonin production, genotoxic effects on DNA and gene expression as well as biophysical attributes of cells, cell membranes and cell suspensions, on which the energy absorption of exposed tissue depend. In addition, research projects, using electrophysiological methods to investigate the functionality of neuronal networks in a retina preparation and a hearing cell in the isolated cochlea during exposure, were presented.

In October 2007, an international expert workshop on long-term effects was held, presenting and discussing primarily animal studies and epidemiological studies, which investigate long-term effects of high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunication. The biological studies analysed, among others, the impact of chronic HF exposure on the blood-brain-barrier, the stress and immune systems, cognition; tinnitus, reproduction and development as well as on development of leukaemia within a specific animal model. From the epidemiological studies of the DMF, results from the German part of the INTERPHONE study were discussed, as well as preliminary data of a comprehensive study on uveal melanoma and the state of a case-control-study on childhood leukaemia in the proximity of radio and television transmitters.

Costs for carrying out the expert talks came out of the research programme's overall budget (see overhead).

#### Work meetings

Work meetings with the researchers were carried out as needed. The necessary funding was covered by each individual project budget. Any necessary external expert costs was covered by the research programme's overall budget (see overhead). These work meetings and colloquia were held at the BfS' premises:

- 1<sup>st</sup> Colloquium on "Epidemiological research project on high frequency electromagnetic fields" in July 2003;
- Expert workshop on dosimetry within epidemiological studies in the vicinity of base stations in March 2004;
- 2<sup>nd</sup> Colloquium on "Epidemiological research project on high frequency electromagnetic fields" in May 2004;
- Colloquium on selected dosimetry topics in January 2005;
- Colloquium on biological projects in October 2005;
- 3<sup>rd</sup> Colloquium on "Epidemiological research project on high frequency electromagnetic fields" in Nov. 2005;
- Colloquium on risk communication in November 2005;
- Colloquium on electromagnetic hypersensitivity projects in May 2006.

#### Internet portal

An Internet portal for the research programme ([www.emf-forschungsprogramm.de](http://www.emf-forschungsprogramm.de)) was set up to increase transparency for the interested public.

The DMF Internet portal comprises:

- A description of the overall programme.
- An overview of the programme research projects (topic, short description, duration (in German and English), interim reports, final reports (German) as well as summaries in German and English.
- An overview with findings of national and international research projects of relevant topics, including an assessment by the BfS.
- Other relevant BfS research projects within the UFO plan, which were not part of the DMF.

Costs for the Internet portal set up were covered by the research programme's overall budget (see overhead), whereas continuous maintenance was covered by the BfS budgetary funds.

#### Public consultation

In order to get a range of opinions that would be as wide as possible on the overall research programme, a public consultation via the Internet was carried out prior to the second expert workshop. For this purpose the overall programme with individual scientific questions was published on the Internet portal in August and September 2003 and the public was invited to submit comments. A total of 66 replies, which were broken down to 91 comments, were received; 22 comments were not programme related, 4 concerned the overall programme; 34 could be allocated to the domain of biology, 17 to dosimetry, 7 to epidemiology and 7 to risk communication. The comments were assessed by the BfS and put up for discussion during the second expert workshop.

#### Overhead

Costs of around 1.9% of the research programme's total financial volume were incurred for administration, the carrying out of expert workshops and the development of the Internet portal. Any further personnel required for the scientific work was provided and financed by the BfS.

## 2.3 CONCOMITANT PROCEDURES

### Round Table on the “German Mobile Telecommunication Research Programme”

A Round Table was initiated by the BfS in June 2004 to assist the research programme. The RTDMF's main objectives was to support the BfS in particular:

- To ensure the research programme's transparency during the implementation of the programme;
- To communicate the programme, its objectives and results and to develop a concept for the publication of research results;
- To analyse the German Mobile Telecommunication Research Programme's findings.

The Round Table comprises members of the following institutions:

- German Medical Association (Bundesärztekammer);
- League for the environment and nature conservation, Germany: a branch of Friends of the Earth (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND));
- Office of Technology Assessment at the German Parliament (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB))
- Research Association for Radio Applications (Forschungsgemeinschaft Funk (FGF));
- Mobile Telecommunication Information Centre (Informationszentrum Mobilfunk (IZMF))
- Länder-Arbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz
- Länder Immission Control Committee (Länderausschuss für Immissionsschutz)
- Network operators
- dpa/gms (Themendienst)
- German Commission for Radiation Protection
- Consumer protection agency.

The Round Table on the German Mobile Telecommunication Research Programme has met 9 times in total. Beside the valuable effect that regular meetings and an open exchange between the different stakeholders has resulted in new and stabilised ways of communication, the RTDMF has also put forward a number of proposals which helped to improve the DMF's transparency, the communication of processes, contents and results. The following measures completely or partially result from suggestions by the Round Table:

- Increase DMF's presence by constant reference in statements and press releases, and gain a greater international presence by participating in international events, giving numerous lectures and positioning within the WHO.
- Make it easier to locate the DMF by search engines, e. g. improved positioning with Google.
- Organise seminars for journalists.
- Improve contact with medical professionals as an important target group and examine the possibility of including a representative of general practitioners in the RTDMF.
- Clearly arrange project information on the DMF website e. g. through a list of projects with a short description in a table form.
- Supply more information on the award procedure.
- Draw a clearer separation between expert discussion and communication with lay persons, which was implemented through the concluding stage.

The communication of the concluding stage included the following recommendations by the RTDMF:

- The communication of DMF findings to the public involved multipliers and opinion leaders as a crucial target group. Attempt to make decision understandable and assessments comprehensible in particular for this target group was made.
- During the contact with multipliers as well as in the communication with scientific lay persons of the public, an attempt was made to comprise scientific findings into "understandable statements", with the aim to create contextual knowledge.

### Expert workshop on “Health impacts of electromagnetic fields of mobile telecommunication - case reports”

A number of mobile advocacy campaigns of medical practitioners repeatedly postulated a connection between electromagnetic fields of mobile telecommunication and a variety of illnesses. An expert workshop on this topic was held within the BfS in August 2006. Participants were environmental medicine professionals, representatives of mobile advocacy campaigns of doctors, environmental epidemiologists, representatives of the Bavarian Medical Association (Bayerische Ärztekammer), DMF researchers as well as representatives from the BfS and the BMU. Possibilities and limitations in dealing with medical reports were discussed. With regard to the question of a possible connection between ADHS in children and exposure to electromagnetic fields, it turned out that investigations on this topic were already part of the DMF's studies. One participant proposed to track the time course of the reported symptoms of hypersensitive persons as part of a long-term study. As this question was not actually a topic of radiation protection, there was no possibility of including such a project in the Environmental Research Plan. A

further investigation, using measurements of the domestic situation of a family suggested by the doctors initiative, was agreed upon and carried out. The measurements were extensively documented. The report is available through the following link:

[http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/Messberichte\\_27\\_07\\_2007.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/veranstaltungen/Messberichte_27_07_2007.html).

Measured field intensities are in the same range as those detected in other locations by DMF studies. They are also consistent with values reported in findings reports, and, therefore, findings presented in the following chapters can also be used to assess the situation presented by the doctors initiatives.

## **2.4 ASSESSMENT PROCESS OF FINDINGS**

A transparent communication of the process, the findings and the process of assessment as well as the assessment of individual results was an important concern for the BfS. From the very beginning, the technical project management as well as all foundations of assessment such as interim results, findings and expert events were documented and published on the DMF's websites. A broad range of scientific expertise was incorporated in the scientific analysis and assessment of findings. The findings from other national and international research programmes were also included in the assessment.

All researchers were asked to summarise in a report their individual results, which, in addition, were meant to be published in renowned scientific journals. Until May 2008, the German Mobile Telecommunication Research Programme has resulted in a total of 60 scientific publications and 50 contributions to expert meetings (annex 4).

Findings from the different DMF subjects were initially discussed in scientific expert workshops. To this end, national and international experts with a broad range of opinions were invited. The results of these expert workshops laid the foundation for a conclusive scientific conference, which incorporated national and international expert groups and organisations (WHO, ICNIRP, SSK among others). During this conference, findings were professionally discussed and remaining scientific knowledge gaps identified.

## **3. SUMMARY OF FINDINGS ON ACUTE EFFECTS**

### **3.1 STATE OF KNOWLEDGE AT THE BEGINNING OF THE DMF**

At the beginning of the DMF programme, only a few epidemiological studies with little sound and, in some cases, inconsistent findings looked into the question of possible acute health effects of high frequency electromagnetic fields. Most studies suffered from methodological problems such as misclassification of exposure, biased selection of subjects or inadequate consideration of interference factors (confounding). Mainly, the actual exposure of study subjects must be questioned, as no personal dosimeters were available at the time of the first studies.

Experimental studies on field intensities occurring in everyday life predominantly showed no effect of high frequency electromagnetic fields on sleep and cognition. Findings on sleep were available from a number of laboratory studies that were conducted under controlled conditions, a slight sleep promoting effect was noticed in a few cases. Findings of behavioural tests under laboratory conditions were also contradictory, showing positive, negative or no effects of high frequency electromagnetic fields on reaction times and cognitive performance.

On the other hand, field reports of affected persons, medical case studies and reports on acute - in some cases, massive adverse health effects in connection with high frequency electromagnetic fields were numerous. Exposure to the fields of mobile communication base stations, but also mobile phones and DECT telephones were primarily named as the cause for these complaints. Many unspecific complaints were described: sleep disorders and headaches occurred particularly often.

Electromagnetic hypersensitive persons are a specific group of people who describe themselves as particularly sensitive towards low and high frequency electromagnetic fields. They suffer from a variety of symptoms which they attribute to the exposure to low and high frequency electromagnetic fields at a very low intensity. A previous research project compiled a list of 36 complaints (Frick *et al.*, 2006). Some of those affected also suspect a connection between special pollution with chemicals and allergies. These symptoms can strongly diminish the quality of life of electromagnetic hypersensitive persons. However, to this date, a causal connection with low or high frequency electromagnetic fields could not be confirmed.

Besides the phenomenon of "electromagnetic hypersensitivity", part of the population exhibits a low perception threshold for e. g. electric currents. This verifiable attribute has been deemed "electrosensibility". Electrosensible persons do normally not complain about discomfort in connection with an exposure to electromagnetic fields.

During examinations carried out using a double-blind exposure design, electromagnetic hypersensitive persons recognised weak high frequency electromagnetic fields e. g. those of a mobile phone only by chance, the same as the control subjects. A connection between the complaints and an exposure to high frequency electromagnetic fields was found in only a few double-blind design studies (Rubin *et al.*, 2005). However, these studies had methodological deficiencies or could not even be reproduced by the authors themselves.

### 3.2 FINDINGS

A cross-sectional study of around 30.000 adults ("Cross-sectional study to record and evaluate the possible adverse health effects from mobile phone base station fields") yielded representative data for the entirety of Germany: With regards to the total population, 28 % of the adult population are concerned about possible health effects of base stations, whereas 11 % attribute adverse health effects to base stations. A strong North-South divide can be observed, with the greatest anxiety in Bavaria and the least in Mecklenburg-Western Pomerania. The proportion of anxious persons and those feeling impaired corresponds to figures found in annual surveys. In comparison to findings from the specific survey on electromagnetic hypersensitivity, minor differences, which however can be attributed to differences in the interview situation, were found.

In addition, the cross-sectional study measured the distance between housing and the location of the base station according to the geographical coordinates and a wide exposure assessment, taking into account relevant variables on housing situation and environment as well as the antenna characteristics was carried out. It was determined that, in 2004, for 47 % of all private homes in Germany there was no base station within a radius of 500 m, which therefore had practically no exposure to fields of mobile phone base stations. The remaining 53 % of private homes, which were within a radius of 500 m from a base station, showed a median flux density of 0.006 mW/m<sup>2</sup> and were therefore well below the limit value.

A 20-minute measurement of high frequency electromagnetic fields in the bedroom of 1808 subjects of the cross-sectional study was carried out by means of personal dosimeters. ("[Addendum to the cross-sectional study on acute health effects caused by fields of mobile phone base stations](#)") For this purpose, the fields emitted by mobile phone base stations (GSM900, GSM1800, UMTS), by radio and television transmitters, DECT and WLAN were recorded separately. Details of relevant confounders and detailed adverse health effects were available for a subgroup of 1326 subjects. Risk analysis, based on measured overall intensities of high frequency electromagnetic fields emitted by mobile phone base stations, showed no connection between the measured fields of base stations and the five investigated dependent variables: headache, sleep disorder, general complaints, and physical or psychic life quality. The regression model took into account the age, gender, living environment, mobile phone use, chronic stress, anxiety and depression. The attribution of adverse health effects to mobile phone base station fields was statistically significantly correlated to sleep disorders and general complaints, but not to the dependent variables headache and physical or psychic life quality.

A laboratory study ("Studies of the effects of exposure to electromagnetic fields emitted from mobile phones on volunteers") studied 30 young, healthy male subjects. Their head was exposed or sham-exposed to GSM-900 or UMTS signals whereby the acceptable SAR value for the head of 2 W/kg was reached, but not exceeded. The findings for a sleep EEG yielded for GSM and UMTS a few significantly changed parameters during the light sleep phase. As deep sleep and the overall sleep duration remained unchanged, the observed results can be deemed as a minor physiological reaction, but not as sleep disturbing. As a result of the large amount of undertaken statistical tests, most of the observed effects can also be coincidental. Investigations of cognitive performance found a significant influence of the time of day on wakefulness and reaction ability, whereas the isolated changes observed under GSM and UMTS exposure must be assessed as statistical coincidence. The awake EEG recorded during the tests also showed a significant impact of the time of the day on the different parameters, whereas the changes related to exposure are coincidental. Overall, the authors of the study and the BfS believe that there are no indications of a health-related impact from GSM and UMTS fields on sleep and cognition.

A double-blind field study under domestic conditions was carried out in 10 locations across Germany, using a representative sample of approx. 300 persons living in the vicinity of base stations. ("Investigation of sleep quality in persons living near a mobile phone base station - Experimental study on the evaluation of possible psychological and physiological effects under residential conditions"). The exposure signal was emitted by a mobilised base station. Sleep EEG was recorded during exposure as well as sham exposure and the subjectively perceived sleep quality was surveyed by means of questionnaires. The evaluation of the sleep parameters of the whole group did not reveal any significant influence of exposure on subjective or objective sleep parameters. An individual evaluation has shown significant differences in single subjects, but the proportion of these subjects was much lower than expected just by chance. Thereby, the sleep parameters ascertained by means of EEG predominantly did not correspond to the subjective indications of

the volunteers. The questionnaires provided for these single cases obvious reasons for a bad sleep which were independent on the exposure. The measured field strength and the distance from the transmitter had no influence on the sleep quality. Concerns and worries concerning base stations induced even during sham exposure a significantly worsened sleep quality. This means, that not the electromagnetic fields, but psychological influences compromise the sleep quality. A further study analysed the sleep quality of electromagnetic hypersensitive persons under domestic conditions ("[Investigation of sleep quality of electrohypersensitive persons living near base stations under residential conditions.](#)"). No atypically high electromagnetic exposure was detected in the subjects' bedrooms, as had been presumed by the subjects. Neither an improvement of sleep quality nor significant changes in sleep parameters were observed after shielding the electromagnetic fields, as long as the subjects were not informed whether real shielding or a fake one had been used. On the other hand, the subjective sleep quality – and not the objective physiological sleep parameters - for some electromagnetic-hypersensitive persons improved when they believed they were shielded (Placebo effect). Both studies provide according to the view of the BfS evidence that electromagnetic fields emitted from base stations have no influence on the sleep quality.

The different research projects on electromagnetic hypersensitive persons ("Investigation of the phenomenon of 'electromagnetic hypersensitivity' using an epidemiological study on 'electrosensitive' patients including the determination of clinical parameters", "Investigation of sleep quality of electrohypersensitive persons living near base stations under residential conditions" and "Investigation of electrosensitive persons with regard to accompanying factors or diseases, such as allergies and increased exposure or sensitivity to heavy metals and chemicals") could not confirm the connection (presumed by the affected) between EMF exposure and their perceived impairments. In transcranial magnetic stimulation (TMS), electromagnetic hypersensitive persons displayed a diminished ability to discriminate a sham from a real magnetic pulse. They often believed they detected an impulse when sham-exposed. However, their objectively measured perception threshold for real impulses in TMS were comparable to those of control subjects. These findings confirm the results of a previous study ("Feasibility study - Verification of the complaints of „electrosensitive“ probands before and after intervention") (see [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schriftenreihe\\_rs638.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schriftenreihe_rs638.pdf)).

Some electromagnetic hypersensitive persons reacted with adverse health effects towards a non-existing mobile phone signal, which they were exposed to during a functional magnetic resonance imaging (fMRI) or at least claimed to "feel" the field.

Electromagnetic hypersensitive people display an altered cortical excitability as measured by a paired-pulse TMS paradigm and compared to controls. No differences between electromagnetic hypersensitive persons and control subjects were found regarding a variety of medical parameters, which allow to draw conclusions about a possible health deterioration in chronically stressed persons, and some relevant genetic factors.

Further extensive researches on electromagnetic hypersensitive persons, using validated questionnaires and medical/biological parameters, show that they represent a very heterogeneous group which cannot be described by a simple model. The measured medical parameters revealed only few significant differences between electrosensitive and control persons whose clinical relevance is questionable, however. In particular the relationship to an accumulation of allergies and/or a special sensitivity to chemicals which are often claimed by the affected persons could not be confirmed. The significantly higher prevalence of somatoform disorders in electrohypersensitive persons compared to controls was remarkable.

### **3.3 OPEN QUESTIONS**

Researches on acute effects through mobile telecommunication in children and young adults were launched within a cross-sectional study ("Acute health effects through mobile telecommunication in children"), but clarification of this question goes beyond the DMF's time and research scope.

Laboratory research findings regarding sleep parameters and cognitive performance are to date only available for healthy, young, male subjects and investigations should also be carried out on further, possibly more sensitive groups, such as women, children and the elderly or people suffering from sleep disorders. In its research agenda, the WHO (WHO 2006) places a high priority for investigations on the topic of sleep and cognition in children in as far as it is ethical.

## **4. SUMMARY OF FINDINGS ON ACTION MECHANISMS**

### **4.1 STATE OF KNOWLEDGE AT THE BEGINNING OF THE DMF:**

Indications from not-replicated studies existed that high frequency electromagnetic fields might lead to genotoxic effects on DNA, can influence differential gene expression, or affect cellular metabolism, cell functions, stress response or the cellular level of Reactive oxygen species (ROS).

Reduction of melatonin synthesis caused by high frequency electromagnetic fields was discussed as a possible mechanism for adverse health effects (so called “Melatonin hypothesis”).

The hearing system is the highest exposed organ during the use of a mobile phone and is therefore an important target structure. Concerns were voiced by the public about potential hearing impairments and some preliminary scientific publications showed indications for possible physiological effects of high frequency electromagnetic fields on the hearing system.

It has been known that strong high frequency electromagnetic fields cause a temperature increase in tissue and, in particular, the connection between a strong temperature increase and damage to the eye (cataract) was (and still is) undisputed. However, there was a lack of systematic research into possible effects of weak high frequency electromagnetic fields on the visual system.

Furthermore, open questions remained whether pulsed high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunication can e. g. be demodulated through cell membranes. This hypothesis is connected to fears and anxieties mentioned by the public, in particular towards “pulsed” signals.

## 4.2. FINDINGS

Within the DMF, different end points in cells related to the immune system were investigated. These allow drawing conclusions about the state and functionality of these cells during exposure to high frequency electromagnetic fields. These endpoints include e. g. survival, reproductive ability, cell cycle or the induction of stress proteins, and they were not affected. The same applies to the concentration of reactive oxygen species in the investigated cells. The hypothesis that high frequency electromagnetic fields below limit values also increase the concentration of ROS, with potentially genotoxic effects, is not supported by the overall research findings.

A blood-brain-barrier cell-culture model investigated the impact of exposure to high frequency electromagnetic fields on cells of the blood-brain-barrier. Several genes had been changed significantly in their expression, but no plausible pattern was detected: only selective significance at different SAR-values. As there are no indication from *in vivo* studies and one *in vitro* study, the observed changes to the gene-expression level are not assessed as adverse effects to the functionality of the blood-brain barrier. It is however recommended to verify the findings - e. g. within the scope of fundamental research - and if necessary to pursue them further.

Neurophysiological investigations on the impact of high frequency electromagnetic fields according to GSM and UMTS standard on the neuronal network of the retina and the activity of hearing cells have shown no systematic, biologically relevant results up to a SAR value of 20 W/kg. A detailed multivariate statistical analysis yielded a few significant results, which were inconsistent and for methodical reasons expected, therefore they are assessed as coincidental for substantial and statistical reasons (false positives). It became clearer that neuronal networks of the retina and the brain react to temperature fluctuations in the range of around 0.2°C. Resulting changes of neuronal activity are within the normal physiological range and have no health relevance, as body temperature fluctuates around 1 °C during the course of a day. There are currently no indications that the visual system is impacted through weak electromagnetic fields below limit values (Schmid *et al.* 2005, Unterlechner *et al.* 2007). Dosimetry studies carried out throughout the DMF show that the exposure of the retina during a telephone call is rather low. Therefore, there seems to be no need for further research on the impact of high frequency electromagnetic fields on the visual system. Research findings on hearing cells correspond to findings from the international EU research projects GUARD and EMFnEAR (Parazzini *et al.* 2007b, <http://www.emfnear.polimi.it/results/documentation/EMFnEARInterimReport.pdf>), which have found no influence of GSM and UMTS signals on the hearing system. On account of all these results, no acute hazard to the hearing system resulting from mobile telecommunication can be assumed.

The “genotoxic effects” endpoint must be further investigated beyond the DMF. The assessment of findings from ongoing studies initiated by the DMF as well as that of findings from the study on differential gene-expression in human lymphocytes are carried out, together with relevant findings from current and future UFO Plan projects will be done separately.

In the meantime, attempts have failed to reproduce at international level the findings from a research group participating in the REFLEX programme regarding genotoxic effects of low frequency and high frequency electromagnetic fields in the same cell system (human fibroblasts). As for genotoxic effects, it should be noted that they still are observed in specific cell types only, using specific exposure scenarios or specific SAR values (“window effects”) and have not been reproduced independently. Meanwhile, there have been several sound studies on non-stimulated lymphocytes, in which no genotoxic effects of HF-radiation have been found. There is therefore a consistent picture developing with regards to this cell system.

### 4.3 OPEN QUESTIONS

From a radiation protection point of view, there are currently no starting points which go beyond current research.

## 5. SUMMARY OF FINDINGS ON CHRONIC EFFECTS

### 5.1 STATE OF KNOWLEDGE AT THE BEGINNING OF THE DMF

Studies carried out by the research team Salford (Salford *et al.* 2003), as well as a study carried out on a cell culture model (Schirmacher *et al.* 2000), provided indications that high frequency electromagnetic fields of mobile telecommunication can increase the permeability of the blood-brain barrier and damage nerve cells. An animal study on mice (Repacholi *et al.* 1997) indicated that chronic exposure to high frequency electromagnetic fields can increase cancer incidence of the haematopoietic system, in particular for lymphocytes. Anxieties towards potential hearing impairment and the induction of tinnitus have been expressed by the public. Indications from isolated animal studies show that high frequency electromagnetic fields could have an adverse effect on learning and cognition. Long-term studies, covering more than one generation, in particular with regards to the new mobile telecommunication standard UMTS, whose signal characteristics is significantly different from the GSM signal characteristics, were missing. The DMF placed also an emphasis on experimental studies on animals covering several generations as these studies record prenatal developmental stages, for which the possibility that they are particularly sensitive towards adverse health effects exists.

Isolated indications from epidemiological studies on occupational groups that are highly exposed (Ahlbom *et al.* 2004) suggested an increased cancer risk e. g. brain tumours, leukaemia, breast cancer, testicular cancer and eye melanoma for these groups. These studies also provided indications for a possible connection between high frequency electromagnetic fields and cardiovascular diseases, damaging effects on reproduction and the development of cataracts. With regard to environmental exposure of the public through RF fields of transmitters, there have been signs of an increased risk of childhood leukaemia in the proximity of strong radio and television transmitters. Epidemiological studies on the use of mobile phones mainly focused on the examination of incidence risk regarding brain tumours, acoustic neuroma (acoustic nerve) or ocular tumours. Here, there are indications that high frequency electromagnetic fields increased the risk to contract a uveal melanoma (rare ocular tumour) or brain tumour. The findings of epidemiological studies on occupational or environmental exposure as well as mobile phone use were overall very inconsistent and, on account of the studies' methodological weaknesses, not very scientifically sound. This included, among others, the assessment of exposure through electromagnetic fields, biased selection of subjects and the non-consideration of other confounders.

An overall fear that children would especially be sensitive towards adverse health effects of high frequency electromagnetic fields prevailed. Epidemiological studies on long-term effects through mobile telecommunication in children were missing.

### 5.2 FINDINGS

Studies carried out within the DMF do not support the hypothesis of blood-brain barrier damage caused by high frequency electromagnetic fields below limits. This applies to a chronic total body exposure and also includes pre-natal developmental stages in animals as well as local acute exposure of the head. No adverse effects could be observed even up to 50 days after exposure. During a UMTS exposure using a SAR value of 13 W/kg, a diminished permeability of the blood-brain barrier for albumin was detected compared to control subjects.

A repeated exposure over a 4-week period with a SAR value of 13 W/kg however found an increased albumin permeability of the blood-brain barrier in the examined brain areas of the exposed animals. This result was only relevant for GSM signals and did not occur immediately, but time-delayed after the end of the exposure. However, the effect was overall within a range, also applicable to some of the non-exposed control subjects.

No indications on the induction of tinnitus was found in an animal model using SAR values of up to 20 W/kg, neither in behavioural tests nor on molecular level.

The development of lymphoma was investigated in a specific animal model. Long-term exposure with GSM or UMTS (SAR 0.4 W/kg) did not lead to differences between exposed animals and controls.

A study covering four generations of chronically exposed mice to UMTS signals did not result in any signs of harmful effects on the reproduction and development parameters.

Participation in the international case-control-study on brain tumours (INTERPHONE) yielded valuable information. The smaller national parts of the study showed consistently that there is no increased risk of brain tumour for the use of mobile phones over a period of less than ten years. The data of all participating countries must be combined in order to assess the long-term user group (mobile phone use over a period of more than 10 years). These findings have not yet been available at the time of this report. Findings of the case-control-study on uveal melanoma that are available so far show no indications for an increased risk through the use of mobile phones. As the sample of long-term users is here also too small, no conclusion on health effects of use over a period of more than 10 years can be drawn.

The case-control-study on childhood leukaemia in the proximity of large radio and television transmitters found no indications for a connection between the estimated field intensities and the risk of childhood leukaemia. The overall evidence of studies on childhood leukaemia conducted until now, seen in the context of findings from studies on action mechanisms, speaks against a cause-and-effect relationship rather than for it.

The implementation of a large cohort study would have been desirable, as this study, in contrast to a case-control-study can investigate a wide range of possible long-term, mobile telecommunication-related effects (e. g. cancer incidence, overall mortality, cardiovascular diseases, neurodegenerative diseases, cataracts etc.). In Germany, the feasibility of two cohort studies had been verified. One of the studies was supposed to be carried out on occupational groups of persons that are highly exposed. However, it was not possible to define suitable cohorts, which would have allowed a significant risk assessment. A further feasibility study analysed the possibility of participating in the international prospective cohort study on mobile phone users (COSMOS). Due to the low willingness of population to participate and the difficulties to pursue certain end-points (e. g. neuronal diseases), the study, which is undertaken in other European countries, could not be carried out as part of the DMF in Germany.

### **5.3 OPEN QUESTIONS**

Further research need prevails on long-term effects (a period of use of more than 10 years), due to cancer long latency periods and the comparably short-term use of mobile communication technology by the general public. This applies to adults as well as to children, whereby the focus is mainly on partial body exposure through the use of sources close to the body.

## **6. SUMMARY OF FINDINGS ON DOSIMETRY**

### **6.1 STATE OF KNOWLEDGE AT THE BEGINNING OF THE DMF**

Due to GSM mobile phone network extensions all over the country and the imminent set up of broadband multimedia networks (UMTS) and, therefore, an increased use of appropriate end devices by the consumer, an increased exposure of the general public through high frequency electromagnetic fields can be expected. The increased market penetration of further wireless communication devices as well as the planned changeover from terrestrial television to DVB-T standard is also suspected to increase exposure of the population.

The fundamental physical principles, to which electromagnetic fields are subject, and their interaction with material have been known for a while and investigated thoroughly and scientifically. However, defined procedures to accurately determine the real exposure to which the population is subjected through the newly introduced technologies were not really available. Electromagnetic fields, in particular of mobile telecommunication, were additionally under suspicion of causing adverse health effects in humans. Experimental research on cells, laboratory animals and human subjects yielded in some cases contradictory findings. Inadequately classified exposure was discussed as one possible weakness of these studies. Knowledge about accurate, especially organ-specific distribution of high frequency electromagnetic fields penetrating the body at different frequencies and therefore possible uneven temperature increase in tissue was scarce. This is due to the fact that electromagnetic fields can practically not be measured in living organisms and that there is an insufficient number of detailed computer models for numerical calculations. This applied to the different development stages of human beings as well as to different laboratory animals used in studies. Furthermore, from a dosimetrical point of view, the question of transferability of laboratory tests to humans was raised. It was unknown, whether procedures used for exposure classification appropriate in epidemiology could be defined. Finally, there was the anxiety that the use of a large amount of mobile phones in a small space e. g. in public transportation, could lead to an infringement of recommended limit values for human beings.

## 6.2 FINDINGS

Studies carried out as part of the DMF in the subject dosimetry lead substantially towards answering the above questions and to better understanding the maximum and real exposure of the general population to electromagnetic fields in daily life situations. Guidelines on professional use of measurement instruments and proposals of measurement and calculation methods from a radiation protection perspective were developed for a variety of uses of electromagnetic fields. They can, in the future, be used for high quality exposure assessment, which can also be used for comparisons among others. The exposure through new technologies e. g. DVB-T, WLAN, DECT or Bluetooth was investigated in addition to the two mobile phone standards GSM and UMTS. It was therefore able to cover a wide range of technical applications of electromagnetic fields that play an important role in daily life.

A rise in exposure is to be expected when new wireless transmission methods are operated, in addition to those currently in use. As can be seen from the example of the introduction of digital terrestrial television broadcasting system - DVB-T, a change to a high frequency and technically more efficient technology can also lead to a rise in exposure. The median value of 200 statistically distributed measuring points in the Munich - Nuremberg area has increased five-fold to  $5.1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  measured as part of the introduction of DVB-T. Moreover, also considering radio broadcast, the maximum exposure value measured after the changeover to DVB-T standard was  $4,7 \text{ mW}/\text{m}^2$ . Measurements in the immediate vicinity of a telecommunications tower displayed a maximum value of  $6.6 \text{ mW}/\text{m}^2$ . The large spread of possible exposure, found in the difference between median and maximum values, is also reflected in investigations on exposures of mobile phone base stations. For example, maximum values related to the highest operational state of the station of  $69.3 \text{ mW}/\text{m}^2$  for UMTS and  $78.3 \text{ mW}/\text{m}^2$  for GSM were found in systematically selected measuring points in the vicinity of places with combined GSM and UMTS transmitters. The measurements were taken using the measurement method developed by the two DMF projects. The median values of this investigation were  $0.5 \text{ mW}/\text{m}^2$  and  $1.5 \text{ mW}/\text{m}^2$  resp.. A synopsis of both studies of non-portable transmitters show that exposure is subject to a spreading width of up to around 60 dB (Factor 1.000.000), but is still significantly below current limit values. This means that the maximum values for the different systems found and extrapolated to the highest operational state of the station were more than one scale below limit values. The creation of area-wide exposure register, often demanded, is not supported by the BfS due to the high temporal and spatial variability of exposure.

Exposure close to limit values is possible during the operation of comparably powerful devices e. g. mobile telephones, on or near one's own body. However, the exposure of people in the vicinity is small and comparable to the exposure in the vicinity of non-portable transmitters. In particular, a violation of exposure limits can be excluded during the use of a large number of mobile telephones at the same time in a small space e. g. in public transport Research carried out invalidates concerns regarding this topic voiced at the beginning of the DMF programme (Hondou, 2002).

When using mobile phones, a temperature increase in the skin of human beings up to 3 - 5°C is possible. Previous findings, that a temperature increase, which is often felt on the head when using mobile phones and which is due to reduced convection and not high frequency electromagnetic exposure incorporated into tissue, have been confirmed (Bernardi *et al.*, 2001; Gandhi *et al.*, 2001). When using customary transmitters close to the body, temperature increases in inner organs of the head or the trunk of the order of 0.1°C and below have been observed. The average of the Specific Absorption Rate (SAR) over 10 g of tissue as the foundation for limit values, has been confirmed as a conservative concept to avoid distinct, local temperature increase in tissue in the investigated frequency range between 400 MHz to 5 GHz.

During the use of a mobile telephone in a typical telephoning position at the head, every telephone model delivers a SAR value compliant to standards, within exposure limitation. In real life, the actual exposure of the user is also affected by, among others, the transmitting power regulated by the mobile phone network. The results of studies within the DMF show that devices in GSM operation reach maximum output power, depending on the signals received, a proportion of about 5 % to 30 % of the total calling time. The transmitting power levels are generally lower in urban areas than in rural ones. During the receipt of weak signals, output power levels averaged over time have been found to be up to 70 % of the maximum possible level. Considerably lower output power levels and, accordingly SAR values, were found in UMTS devices.

Electromagnetic fields of devices, which are primarily used for wireless transmission of voice and data in the home and office, only result in small exposure. Even during simultaneous output of devices operated away from the body, research found total exposure significantly below current limit values. Investigation of WLAN cards and Bluetooth USB sticks with the highest output level according to the standards, showed that typical exposures are below 10 mW/kg. This means, the risk of exceeding the exposure limit values with these devices, even under the most unfavourable conditions, is unlikely. Devices operated close to body

generally cause higher exposures than devices operated further away. Open questions remain for overall exposure in complex scenarios with several different sources and will be further investigated.

Dosimetry methods in accordance with the current state of science and technology were developed for biological and epidemiological projects. The overall cooperation between expert from the biology, epidemiology and high frequency technology domains was improved. Anatomical, highly defined animal models of exposed test animals were developed and provided important information on the question of transferability of exposure relations from animal experiments to human beings. Beside the overall body SAR value, spatial maximum SAR values and organ-specific SAR values, were identified as dependent variables. Existing model organisms for human beings were refined with organs, which are deemed to be particularly sensitive or highly exposed towards electromagnetic fields, such as the eye, the inner ear or the pineal gland, in order to study them. No locally and significantly increased exposure of these organs was found. Preliminary findings, which need to be validated on an anatomic model of a child's head found indications that some parts of children's head are subject to higher SAR values than adults.

Model calculations in microdosimetry on sub cellular level have shown, that the energy absorption in the cell membrane depends on the layered structure and the anisotropy within the membrane. The calculated absorbed energy based on an improved layered model was higher by a factor of up to 10 in comparison with calculations performed for homogeneous membranes, which is, among other, caused by water logged in the membrane. As a result of spatial conditions and thermal conductivity of the cytoplasm, the resulting temperature increase in the cell membrane will be very small, and there is no basis to anticipate health effects from this finding.

Epidemiological projects were supported by questions on individual exposure assessment. Calculation methods were developed and used to select possibly higher and lower exposed persons. A further differentiation seems currently impossible and remaining misclassification cannot be excluded. Fundamental difficulties are to consider radio transmitters, mobile telecommunication transmitters, historical exposure and exposure caused by personal wireless communication devices in overall exposure model. Personal dosimeters, launched on the market during the DMF programme, must be deemed as progress in this context.

### **6.3 OPEN QUESTIONS**

Findings of studies carried out during the DMF programme on partial body exposure raise questions regarding possible temperature increase to exposure levels of the current limit values for occupationally exposed persons on work places with strong field sources. Open questions remain for overall exposure in complex scenarios with several different sources. In connection with exposure of the general population, open questions generally remain regarding maximum and typical exposure through new technologies.

## **7. SUMMARY OF FINDINGS ON RISK COMMUNICATION**

### **7.1 STATE OF KNOWLEDGE AT THE BEGINNING OF THE DMF**

Topics of societal risk perception and aspects of risk communication were investigated as part of social science and psychological research already in 1990s. As a result of a rise in public attention to the topic "mobile telecommunication" since the end of the 1990s, which is primarily reflected in increased activities of citizen initiatives and a greater reporting by the media, research on the topic has been intensified.

There was only limited knowledge about the handling of the mobile telecommunication subject by society as a whole at the start of the DMF. The DMF's studies had the objective of highlighting society's perception of the subject "electromagnetic fields of mobile telecommunication in Germany" as a whole and in specific groups. Findings should allow conclusions on important target groups and possible improvements of risk communication to be drawn. The problem of (risk) communication with citizens was particularly pronounced on a local level when deciding on the setting up of mobile phone antennas. Studies undertaken as part of the DMF were meant to assist municipalities in risk communication with its citizens.

### **7.2 FINDINGS**

The surveys carried out within the DMF provide a good and substantiated database on risk perception of the topic "mobile telecommunication" within the general public and certain sub-groups. Additional questions can be answered through a subsequent analysis of existing data.

The analysis of the annual surveys clearly shows, with regards to the society as a whole, that the magnitude of public concern and the feeling of impairment in the general public are rather invariable over the years. The data also show a strong stability in the comparative risk perception of a variety of potential health hazards. This means that several other risks (e. g. air pollution, UV-radiation or genetically modified food) are ranked higher than electromagnetic fields. Nevertheless, in certain subgroups, concern regarding electromagnetic fields and the perceived impairment due to electromagnetic fields is high. Mobile phone transmitters receive more attention than mobile phones, not least due to the lack of control or involuntariness of exposure. However, research also makes it clear that impairments through electromagnetic fields play no role for the majority of the population. They are only a consistent and incriminatory fact of daily life for a small part of the population. Therefore, the attention paid or the information need and the willingness to deal with information on the topic, is low for the majority of the public.

The research findings clearly show that quality but not quantity of information measures are paramount to create information which are accessible, comprehensible and credible for specific subgroups. Every institution must be aware of the type of information a group will perceive and possibly make use of. Decisions on relevant target groups must be consciously made. The specific and differently motivated information requirements have to be met in a more differentiated fashion, when developing information material. This applies to the content as well as to form and medium of the measures. For example, population groups that show a higher concern require specific information tailored to their anxieties and needs, such as recommendations on how to reduce exposure to EMF – irrespective of a causal relationship between exposure and health effect. In risk and scientific communication settings, greater attention should be paid to explaining expert terminology mainly unknown to lay persons, as well as to the differences between experts and laypersons in definition and usage of terms (such as “risk”).

Municipalities can provide a valuable contribution towards good risk communication at the local level and to solve local conflicts emerging during the site acquisition process. An appropriate framework for cooperation and communication between the actors are, on the one hand, the voluntary commitment between network operators and the Federal government and, on the other hand, similar agreements on Federal state level. Research findings acquired through the DMF, as well as the newly-developed mobile telecommunication guide for municipalities ([www.ratgeber-mobilfunk.de](http://www.ratgeber-mobilfunk.de)), are of particular assistance to smaller and rural municipalities. Municipalities face the important task to develop the necessary social and communicative competencies to improve dialogue with network operators as well as citizens. Emphasis must be placed on e. g. early information of citizens on the site acquisition plans, creation of transparency, response to citizen's concerns and taking their interests into consideration, as far as possible. Bringing together stakeholders with conflicting interests should be a natural measure to conflict resolution for municipalities. Municipalities should call in external experts, which are rarely available in-house for discussion on topics of risk and health.

As a special information offer on different questions with regard to electromagnetic fields, the information system EMF-Portal ([www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de)) has been set up on the Internet. It provides unbiased, scientific information for a variety of stakeholders, scientists, decision-makers and scientific lay persons. In particular, professional users with some background knowledge can use the EMF-portal as a good source of information, as it provides a quick overview over the up-to-date availability of new scientific publications. An improved user-friendliness for lay persons is aimed at, in particular to provide a better assistance in the assessment of studies.

### 7.3 OPEN QUESTIONS

Open questions or requirements are, on the one hand, the target-group specific form of communication measures. More detailed knowledge is needed on the criteria for lay people-oriented, comprehensible and credible information. Which concrete topics and contents should be considered for those subgroups of the population requiring more information on EMF. Further information on the development of concern and the role of emotions in risk perception is helpful when dealing with different belief groups. Further research should be carried out on the actual importance of trust, credibility and acceptance within risk communication, which often takes place in an impersonal setting. Furthermore practical possibilities to actively increase these should be identified. More research is required to handle the problem often faced in practice on how to communicate scientific uncertainties and the limitations of scientific argumentation (e. g. proof of the non-existence of risks). The BfS will further pursue this research as part of the Environmental Research Plan.

Dealing with multipliers such as medical professionals in communication has to be improved. To this end, the BfS has commissioned, as part of the Environmental Research Plan, a survey of German general practitioners, with the objective of identifying the role of EMF as a potential cause for complaints in Germany's doctor surgeries and the way medical doctors deal with the topic. In addition, the level of knowledge and information requirement of general practitioners on the topic EMF is to be determined.

On the other hand, greater use has to be made of knowledge so far acquired. An intensified evaluation of measures can reveal its relevance for risk communication and its influence on the perception of different target groups. More emphasis on international collaboration with respect to approaches and experiences with risk communication as well as comparative investigation on risk perception on international level can yield further information for an improved risk communication.

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)**

BfS-ISH-140/89

*Bayer, A.; Braun, H.; Dehos, R.; Frasch, G.; Haubelt, R.; Hoppe-Schönhammer, J.; Kaul, A.; Löbke, A.; Werner, M.*

Erfassung, Dokumentation und strahlenhygienische Bewertung vorliegender Aktivitätsmeßdaten aus der Bundesrepublik Deutschland als Folge des Reaktorunfalles im Kernkraftwerk Tschernobyl.

BfS-ISH-141/90

*Stamm-Meyer, A.; Stanek, H.; Bögl, K.W.*

Biologische Indikatoren zum Nachweis von Strahlenexpositionen - Thymidinkonzentration im Humanserum als "biologisches Dosimeter"?

BfS-ISH-142/90

*Burkhardt, J.; Lux, D.*

Characterization of Critical Population Groups with Special Consumption Habits in Bavaria.

BfS-ISH-143/90

BfS-ISH-143/90

*Roedler, H. D.; Pittelkow, E.*

Strahlenexposition des Patienten bei der nuklearmedizinischen Anwendung markierter monoklonaler Antikörper.

BfS-ISH-144/90

*Frasch, G. A.*

Fehlbildungshäufigkeiten in Bayern 1968 - 1979 / Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

BfS-ISH-145/90

*Martignoni, K.*

Spontane und Strahleninduzierte kongenitale Anomalien einschließlich Fehl- und Totgeburten.

BfS-ISH-146/90

*Schaller, G.; Leising, Chr.; Krestel, R.; Wirth, E.*

Cäsium- und Kalium-Aufnahme durch Pflanzen aus Böden.

BfS-ISH-147/90

*Brachner, A.*

Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern (1972 - 1986).

BfS-ISH-148/90

*Winkelmann, I.; Endrulat, H.-J.; Fouasnon, S.; Gesewsky, P.; Haubelt, R.; Klopfer, P.; Köhler, H.; Kohl, R.; Kucheida, D.; Leising, C.; Müller, M.-K.; Neumann, P.; Schmidt, H.; Vogl, K.; Weimer, S.; Wildermuth, H.; Winkler, S.; Wirth, E.; Wolff, S.*

Radioactivity Measurements in the Federal Republic of Germany after the Chernobyl Accident.  
(Unveränderter Nachdruck von ISH-116)

BfS-ISH-149/90

*Hofmann, R.; Hendriks, W.; Schreiber, G. A.; Bögl, K. W.*

BLood Amylase - A Biochemical Radiation Indicator?

BfS-ISH-150/91

*Frasch, G.; Martignoni, K.*

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. III. Das strahlenbedingte Brustkrebsrisiko.

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)**

BfS-ISH-151/91

*Martignoni, K.* (unter Mitarbeit von *Elsasser, U.*)

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. IV. Das strahlenbedingte Schilddrüsen-Krebsrisiko.

BfS-ISH-152/91

*Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P.* (*Infratest Gesundheitsforschung, München*); *Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.*

Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West). Kurzfassung.

BfS-ISH-153/91

*Brachner, A.; Grosche, B.*

Risikofaktoren für bösartige Neubildungen.

Neuherberg, Juni 1991

BfS-ISH-154/91

*Brachner, A.; Grosche, B.*

Perinatale Risikofaktoren einschließlich Fehlbildungen.

Neuherberg, Oktober 1991

BfS-ISH-155/91

*Römmelt, R.; Hiersche, L.; Wirth, E.*

Untersuchungen über den Transfer von Caesium 137 und Strontium 90 in ausgewählten Belastungspfaden.

Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1033.

Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-156/91

*Poschner, J.; Schaller, G.; Wirth, E.*

Verbesserung und Neuentwicklung von radioökologischen Modellen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Beseitigung von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen.

Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1104.

Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-157/92

*Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P.; Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.*

Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West).

- Abschlußbericht -.

Neuherberg, September 1992

BfS-ISH-158/92

*Lörch, Th.; Wittler, C.; Friebe, M.; Stephan, G.*

Automatische Chromosomendosimetrie.

Neuherberg, Oktober 1992

BfS-ISH-159/92

*Schmier, H.; König, K.; Aßmann, G.; Berg, D.*

Ganzkörpermessungen an bayerischen Schulkindern. Abschlußbericht . Juli 1992.

Neuherberg, Dezember 1992

BfS-ISH-160/93

*Irl, C.; Schoetzau, A.; Steinhilber, B.; Grosche, B.; Jahraus, H.; van Santen, E.*

Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern 1972 bis 1990.

Neuherberg, März 1993

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)**

BfS-ISH-161/93

*Dalheimer, A.; Henrichs, K. (Hrsg.)*

Thorium, Probleme der Inkorporationsüberwachung. Anwendung, Messung, Interpretation.  
Seminar in Kloster Scheyern/Bayern am 12. und 13. Oktober 1992, durchgeführt vom Institut für Strahlenhygiene des BfS.

Neuherberg, September 1993

BfS-ISH-162/93

Daten zur Umgebungs- und Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1990 bis 1992.

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz und den Leitstellen des Bundes.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-163/93

*Steinmetz, M. (Hrsg.)*

Arbeitsgespräch Terrestrisches solares UV-Monitoring am 2. Juni 1992 im Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-164/93

*Poschner, J.; Schaller, G.*

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Dezember 1993

BfS-ISH-165/94

*Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.*

Forschungsprogramm Strahlenschutz 1992 bis 1993. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1994

BfS-ISH-166/94

*Burkart, Werner (Hrsg.)*

Erste deutsche Aktivitäten zur Validierung der radiologischen Lage im Südrural.

Neuherberg, August 1994

BfS-ISH-167/94

*Ralph Gödde, Annemarie Schmitt-Hannig, Michael Thieme*

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1994 -

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Oktober 1994

BfS-ISH-168/94

*Schoetzau, A.; van Santen, F.; Irl, C.; Grosche, B.*

Angeborene Fehlbildungen und Säuglingssterblichkeit nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

Neuherberg, Dezember 1994

BfS-ISH-169/95

*Poschner, J.; Schaller, G.*

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Januar 1995

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte** (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-170/95

*Angerstein, W.; Bauer, B.; Barth, I.*

Daten über die Röntgendiagnostik in der ehemaligen DDR.

Neuherberg, März 1995

BfS-ISH-171/95

*Schopka, H.-J.; Steinmetz, M.*

Environmental UV radiation and health effects.

Proceedings of the International Symposium, Munich-Neuherberg, Germany, May 4-6, 1993.

Neuherberg, Mai 1995

BfS-ISH-172/95

*Kragh, P.*

C-Programm LINOP zur Auswertung von Filmdosimetern durch lineare Optimierung. Anwendungshandbuch.

Neuherberg, November 1995

BfS-ISH-173/96

*Thieme, M.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.*

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1995.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1996

BfS-ISH-174/96

*Irl, C.; Schoetzau, A.; van Santen, F.; Grosche, B.*

Inzidenz bösartiger Neubildungen bei Kindern in Bayern nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

Neuherberg, April 1996

BfS-ISH-175/96

*Dalheimer, A.; König, K.; Mundigl, S.*

Überwachung der Raumluftaktivität. Verfahren, Interpretation, Qualitätssicherung.

2. Fachgespräch am 12. und 13. Oktober 1995, Schloß Hohenkammer / Bayern.

Neuherberg, Oktober 1996

BfS-ISH-176/97

*Brachner, A.; Martignoni, K.*

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. V. Das strahlenbedingte Knochenkrebsrisiko.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-177/97

*Schaller, G.; Arens, G.; Brennecke, P.; Görtz, R.; Poschner, J.; Thieme, J.*

Beseitigung radioaktiver Abfälle und Verwertung von Reststoffen und Anlagenteilen. Grundlagen, Konzepte, Ergebnisse.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-178/97

*Bäumli, A.; Bauer, B.; Bernhard, J.-H.; Stieve, F.-E.; Veit, R.; Zeitberger, I. (Hrsg.)*

Joint WHO / ISH Workshop on Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology. Munich-

Neuherberg, Germany, October 9-13, 1995.

Neuherberg, Februar 1997

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)**

BfS-ISH-179/97

Zusammengestellt von: *Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.; Gödde, R.*

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1996. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-180/97

*Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Schnuer, K.* (Editors)

European study of occupational radiation exposure -ISOREX -.

Proceedings of the Introductory Workshop held in Luxembourg, May 20th - 21st, 1997.

Neuherberg, November 1997

BfS-ISH-181/98

*Schulz, O.; Brix, J.; Vogel, E.; Bernhardt J.H.*

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder als Umweltfaktoren: Epidemiologische Untersuchungen.

Neuherberg, Februar 1998

BfS-ISH-182/98

*Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.*

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1997.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-183/98

*Dahlheimer, A.; Hartmann, M.; König, K.* (Hrsg.)

Körperaktivität durch natürliche Quellen.

Berücksichtigung des Beitrages der aus natürlichen Quellen aufgenommenen Radionuklide bei der Ausscheidungsanalyse.

3. Fachgespräch am 25. und 26. November 1996, Fachbereich Strahlenschutz des BfS., Berlin.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-184/99

*Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Petrova, K.*

Occupational Radiation Exposure in Central and Eastern European Countries

- ESOREX EAST -

Proceedings of an Introductory Workshop held in Prague, September 24th - 25th, 1998

Co-organised by: State Office for Nuclear Safety (SUJB), The Czech Republic.

Freiburg, Februar 1999

BfS-ISH-185/99

*Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Donhärl, W.*

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1998.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, April 1999

BfS-ISH-186/99

*Schaller, G.; Bleher, M.; Poschner, J.*

Herleitung von Dosiskonversionsfaktoren für die Freigabe von Abfällen mit geringfügiger Radioaktivität.

Neuherberg, Mai 1999

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)**

BfS-ISH-187/99

*Wirth, E.; Pohl, H.*

Kolloquium

Radioökologische Strahlenschutzforschung

Ressortforschungsprogramm des BMU

3. und 4. Mai 1999

Neuherberg, August 1999

BfS-ISH-188/00

*Frasch, G.; Kragh, P.; Almer, E.; Anatschkowa, E.; Karofsky, R.; Nitzgen, R.; Schmidt, H.; Spiesl, J.*

1. Bericht des Strahlenschutzregisters des BfS mit Daten des Überwachungsjahrs 1998

Neuherberg, Juni 2000

### **Ab 1. Dezember 2000 SH**

BfS-SH-1/00

*Jung, Th.; Jacquet, P.; Jaussi, R.; Pantelias, G.; Streffer, Chr.*

Final Report

Evolution of genetic damage in relation to cell-cycle control: A molecular analysis of mechanisms relevant for low dose effects.

Contract N° FI4PCT960043

Reporting Period: January 1997 – June 1999

Neuherberg, Dezember 2000

BfS-SH-02/02

*Donhär, W.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Williams, M.*

Strahlenschutzforschung

- Programmreport 2000 –

Bericht über das Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Neuherberg, April 2002

BfS-SH-03/02

*Jahraus H.; Grosche B.*

Inzidenz kindlicher bösartiger Neubildungen (1983-1998) und Mortalität aufgrund bösartiger Neubildungen in der Gesamtbevölkerung (1979-1997) in Bayern

2. Fortschreibung des Berichts „Inzidenz und Mortalität bösartiger Neubildungen in Bayern“ von 1993

Bericht im Rahmen des „Strahlenbiologischen Umweltmonitoring Bayern“

Salzgitter, August 2002

BfS-SH-04/02

*Grosche B.; Weiss W.; Jahraus H.; Jung T.*

Häufigkeit kindlicher Krebserkrankungen in der Umgebung von Atomkraftwerken in Bayern

Salzgitter, August 2002

### **Ab 1. Februar 2003 SG**

BfS-SG-01/03

*Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.*

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 1999 bis 2001

Auswertung des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juli 2003

## **Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)**

BfS-SG-02/03

*Noßke, D.; Dalheimer, A.; Dettmann, K.; Frasch, G.; Hartmann, M.; Karcher, K.; König, K.; Scheler, R.; Strauch, H.*

Retentions- und Ausscheidungsdaten sowie Dosiskoeffizienten für die Inkorporationsüberwachung Übergangsregelung bis zur In-Kraft-Treten der entsprechenden Richtlinie zur inneren Exposition  
Salzgitter, Dezember 2003

BfS-SG-03/04

*Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.*

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2002

Bericht der Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Februar 2004

BfS-SG-04/04

*Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2002

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und verwaltete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums

Salzgitter, März 2004

BfS-SG-05/05

*Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.*

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2003

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, April 2005

BfS-SG-06/05

*Stegemann, R.; Frasch, G.; Kammerer, L.; Spiesl, J.*

Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, August 2005

BfS-SG-07/06

*Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.*

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2004

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juli 2006

BfS-SG-08/06

*Hartmann, M.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.*

Ergebnisse des In-vitro-Ringversuchs: Thorium- und Uran-Isotope im Urin

Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2003/2004 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS am 22. September 2004 im Bundesamt für Strahlenschutz, Belin

Salzgitter, August 2006

BfS-SG-09/07

*Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.*

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2005

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juli 2007

BfS-SG-10/08

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms – German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF)

Bewertung der Gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks – Health Risk Assessment of Mobile Communications

(Stand 15.05.2008)

Salzgitter, Juni 2008

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz