

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk

Naturwissenschaftliche Forschung zu möglichen Wirkungen schwacher HF-Felder abgeschlossen?

In der elektronischen Ausgabe des NEWSletters 02/08 hatten wir eine erste Einschätzung über das (damals fast fertige) Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm gegeben. Wir waren der Meinung, dass das Programm einen gewichtigen Schritt zur Schließung von Wissenslücken darstellte und hatten zum Ausdruck gebracht, dass das DMF auch ein großes „Stück Sicherheit“ in der Beurteilung der EMVU-Sachlage bringt. Von dieser Meinung wollen wir auch nicht abrücken, finden es aber dennoch interessant, welche Aussagen ausgewiesene Experten unterschiedlicher Disziplinen treffen. So stellen die Beiträge der Autoren Roland Glaser, Kenneth Foster, Alexander Lerchl, Christian Bornkessel und Matthias Wuschek eine eigenständige Sicht aus ihrer jeweiligen Perspektive dar und runden damit die Beurteilung des DMF insgesamt ab.

Roland Glaser

Einschätzung des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF) aus Sicht eines Biophysikers

Die Summe von 17 Millionen Euro - die eine Hälfte vom Steuerzahler bezahlt, die andere von der Mobilfunkindustrie bereitgestellt - stellt ein beachtliches Forschungsvorhaben dar. Verteilt auf 54 Forschungsprojekte - gestreckt auf vier bis fünf Jahre - ist das nicht viel pro Projekt. Mit dem DMF sollte Klarheit geschaffen, ein Ausweg aus den widersprüchlichen Befunden der internationalen Literatur zu Anfang des neuen Jahrhunderts gefunden werden. 17 Millionen Euro aus Deutschland; doch die übrige Welt hat die gleichen Probleme, und so vervielfacht sich der Betrag international betrachtet. 750 wissenschaftliche Publikationen zählt die sicher unvollständige private Datei des Autors zu biologischen Wirkungen von „UHF“ (0,3 - 3 GHz) ab 2001 bis heute; die publizierten Resultate aus Deutschland eingeschlossen.

Was hat dieser Aufwand erbracht? Wieweit wurde das gesteckte Ziel erreicht? Mit deutscher Gründlichkeit war

man bemüht, die 17 Millionen effektiv auszugeben. Nicht nur die Strahlenschutzkommission (SSK - ein Gremium unabhängiger Experten für das Bundesumweltministerium) wählte Themen und Bearbeiter aus. Der Kreis der Berater wurde unter Einbeziehung von Wissenschaftlern und zum Teil auch anderer Stakeholder aus dem In- und Ausland erweitert. Eine Einflussnahme der Industrie, ihrer finanziellen Beteiligung entsprechend, war in beiderlei Interesse von vornherein ausgeschlossen. In mehreren wissenschaftlichen Konferenzen diskutierte man kritisch Probleme und Teilerfolge des Programms. Internationale Gutachter beurteilten letztlich die Ergebnisse.

Viele der zu Beginn dieser Periode noch mit einem Fragezeichen versehenen Befunde erwiesen sich nunmehr als haltlos: Keine Erhöhung der Konzentration reaktiver Radikale im Gewebe war nachweisbar, kein Einfluss auf die Bluthirnschranke, keine Veränderung des Melatoninspiegels, keine nachweisliche Schädigung des Erbgutes, keine erhöhte Krebsrate in Tierexperimenten, auch über mehrere Generationen und unter dem Einfluss kanzerogener Agenzien. Und letztlich schütteln inzwischen die Biophysiker verneinend den Kopf, wenn sie nach möglichen Mechanismen gefragt werden. Ursprünglich



'DNMF' Forschungsprogramms

aufgestellte Hypothesen zu Wirkungsmechanismen schwacher Felder erwiesen sich als unrealistisch. Das Zauberwort „nicht-thermisch“ - verwendet um vermutete Effekte zu benennen, die auftreten könnten, wenn die Exposition so schwach ist, dass Temperatureffekte nicht mehr möglich scheinen - es ließ sich nicht mit Substanz füllen, sondern blieb unbegründete Hypothese. Dies, so sollte man meinen, müsste die Argumente derer entkräften, die behaupten, bei der Festlegung der Grenzwerte habe man die „nicht-thermischen“ Mechanismen missachtet.

So scheint das Urteil der Biophysiker zutreffend: „Wechselfelder der Quantenenergie viele Zehnerpotenzen unterhalb der Grenze zur Ionisierung und einer Intensität unterhalb des thermischen Rauschens können das biologische System mit seinen vielen Stabilisierungsmechanismen nicht stören!“

Theoretiker können sich natürlich irren. Aber Experimente an Zellen, Geweben und Tieren bestätigen diese Einschätzung. Doch: hat man nicht vielleicht an der falschen Stelle geforscht, oder mit falschen Methoden gesucht? Bleibt der Epidemiologe, gefragt nach tatsächlichen Schäden in der Gesellschaft. Dessen statistische Ansätze greifen allerdings nur bei markanten Veränderungen. Die in diesem Programm durchgeführten Recherchen konnten mithin auch keine Feldeffekte finden. Jedenfalls ließen sich keine Korrelationen zwischen Exposition und verschiedenartigen Krebserkrankungen mit einem erforderlichen Grad an Wahrscheinlichkeit nachweisen. Vielleicht liegt dies aber daran, dass zum Glück die Zahlen von Kinderleukämie zu gering sind, und dass die Technologie zu schnell wechselt, um Langzeiteffekte zu erfassen. Bleibt also doch ein Restrisiko?

Es bleibt! Auch wenn in keinem der 54 Projekte ein Hinweis auf eine reale Gefahr gefunden wurde. Es wird

immer bleiben: einmal, weil die Wissenschaft prinzipiell nicht in der Lage ist die Nicht-Existenz eines Phänomens zu beweisen, zweitens, weil fast jeder ehrliche Autor die Grenzen seiner Methode kennt (deshalb auch der letzte Satz in vielen Publikationen: „further studies needed“), und drittens, weil sich immer wieder Autoren melden, die behaupten Veränderungen im biologischen System durch Einwirkung schwacher HF-Felder gefunden zu haben. Wie geht man mit diesen Ergebnissen um? Wie lange soll man noch forschen? Wieviele Millionen sind noch erforderlich? Zunächst gilt es das Rest-Risiko zu bewerten. Wie groß ist es angesichts der vielen Tausend erfolgloser Versuche medizinisch relevante Effekte zu finden? Man kann die Forschung auf diesem Gebiet nicht unmittelbar mit der Risiko-Ermittlung eines neuen Medikaments vergleichen, ist doch von der Mobilfunkstrahlung nicht eine begrenzte Gruppe von Patienten betroffen, sondern ein Großteil der gesamten Menschheit. Und doch ist bisher noch keine Substanz auch nur annähernd so gründlich auf mögliche Nebenwirkungen untersucht worden wie die HF-Felder. Immer wieder hört man das Argument: „Ja, aber die Geschichte mit dem Asbest...“ - Tatsächlich wusste man ziemlich schnell um dessen Gefährlichkeit. Es war die Bauwirtschaft, die sich trotz Warnung der Wissenschaft lange schwer tat, auf dieses Baumaterial zu verzichten. Eine solche Warnung vor den Feldern des Mobilfunks von Seiten der Wissenschaft gibt es nicht.

Das tatsächliche Risiko - so schwer es sich auch quantifizieren lässt - es ist mit absoluter Sicherheit wesentlich geringer als jenes des Rauchens, des Autofahrens, der Verwendung von Insektiziden, Dünger etc. Bevor wir also das Handy weglegen (den Genüssen von Alkohol und Zigarette wollen wir ohnehin nicht entsagen!), sollten wir alle Transportmittel sperren und - drastisch argumentiert - lieber verhungern, indem wir durch Verbot

von Kunstdünger etc. die Nahrungsgüterproduktion unter das Niveau senken, auf dem sie heute steht.

Doch wie ist es mit diesen Positiv-Ergebnissen bestellt, über die sporadisch berichtet wird? Immer wieder erscheinen einzelne Publikationen, die auf vermeintliche Gesundheitsschäden durch den Mobilfunk verweisen. In diesem Zusammenhang sei vermerkt, dass auch die wissenschaftliche Forschung eine Art Handwerk ist. Auch hier gibt es hohe Qualität auf der einen, und Pfusch auf der anderen Seite. Auch offensichtlicher Betrug ist nicht auszuschließen, besonders wenn zumindest für einige Jahre öffentliche Aufmerksamkeit und neue Drittmittel winken. Wenn auch die Wissenschaftsgeschichte genügend Fälle kennt, in denen ein einzelnes Experiment ein ganzes Theoriengebäude zum Einsturz brachte, so kommt es doch auf die Qualität dieser Beobachtung an, auf deren Reproduzierbarkeit. Ein Experiment dieser Qualität zur Wirkung der Felder des Mobilfunks konnte bisher nicht vorgelegt werden. Diese anscheinend spektakulären Einzelbefunde erwiesen sich bei genauer Überprüfung in keinem Fall als reproduzierbar.

Es wäre interessant, die Geschichte der HF-Forschung einmal daraufhin zu analysieren, wie viel der Steuerzahler bisher schon investiert hat, für vergebliche Versuche, gefuschte oder gar manipulierte Experimente zu reproduzieren. Die internationale Literatur liefert hierfür reichlich Material! Auf eine unseriöse Behauptung kommen oftmals viele vergebliche Reproduktionsexperimente, um sie ad absurdum zu führen. „Widerlegen“ kann man vielleicht eine philosophische Behauptung oder ein mathematisches Postulat. Ein gefälschtes Experiment hängt wie ein Gespenst im Gemäuer, kann eventuell gebannt, nicht aber beseitigt werden!

Doch zurück zu dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm. Liest man die Berichte und die Bewertungen, so scheint klar, dass dieses Gebiet wissenschaftlich inzwischen abgegrast ist. Auch der Blick auf seriöse wissenschaftliche Publikationen im internationalen Maßstab zeigt dies. Das Problem der Kinder-Empfindlichkeit wird aus politischen, um nicht zu sagen: populistischen Gründen immer wieder hervorgehoben, obgleich es angesichts von Tierexperimenten über mehrere Generationen und eine Vielzahl anderer Untersuchungen eigentlich ebenfalls als geklärt betrachtet werden kann. Selbst dort, wo man mit minutiöser Technik und Statistik

glaubt, gewisse Effekte aus dem EEG von Probanden herauslesen zu können, ist man übereinstimmend der Meinung, dass dies keine Anzeige für gesundheitlich relevante Einflüsse ist. Den Biophysiker interessiert noch die Mikrodosimetrie: könnte es sein, dass stärkere Felder gezielt bestimmte Moleküle ansprechen? Doch dies ist eine Frage, die zu Anwendungen höherer Intensitäten in Biotechnologie und eventuell Therapie überleitet und sich nicht auf den hier zu diskutierenden Sicherheitsaspekt bezieht.

Erstmalig ist in ein Studien-Programm der Problembereich „Risikokommunikation“ aufgenommen und damit mit Recht der Fokus auf den Bereich der Gesellschaftswissenschaften gerichtet werden. Wenn auch „Elektrosensibilität“ als Folge einer tatsächlichen Wirkung elektromagnetischer Felder auf das Wohlbefinden mancher Menschen nicht nachweisbar ist, so gibt es doch einen gar nicht so kleinen Kreis „elektrosensibler“ Menschen, die tatsächlich leiden, auch wenn nachweislich nicht bedingt durch den „Elektromog“. Wir wissen heute, dass dies Erkrankungen sind, die, Phobien vergleichbar, angelernt wurden, konditioniert, wie der Neurologe sagt. Wie ist dies gekommen? Warum leiden die Skandinavier unter dermatologischen, die Deutschen unter psychosomatischen Störungen? Wer hat hier „konditioniert“ und wie? Die Frage ist mit Blick auf das Internet und mitunter auch auf Presse, Fernsehen und Rundfunk nicht schwer zu beantworten. Eine Lösung hingegen ist nicht in Sicht. Die Naturwissenschaft kann aber dabei nicht helfen.

Welche Schlussfolgerungen sind zu ziehen? Das Risiko gesundheitsschädigender Wirkungen der Felder des Mobilfunks in den zugelassenen Grenzen ist - so überhaupt existent - außerordentlich klein in Relation zu anderen Umwelttoxinen, denen der moderne Mensch ausgesetzt ist. Schritte sind zu unternehmen, um den „Elektrosensiblen“ zu helfen - nicht durch Faraday'sche Abschirmung, sondern durch Psychotherapie. Vor allem gilt es, die Quellen dieser konditionierenden Fehlleitung zu finden und nach Möglichkeiten zu suchen, diese zu beseitigen. Den EEG-Befunden gilt es auf den Grund zu gehen, vermutlich handelt es sich um Anregung von Thermorezeptoren, die pulsspezifisch zu biologischen Resonanzen führen. Dies scheint beachtenswert, auch wenn diese Reaktionen medizinisch unbedenklich, weil vergleichbar sind mit thermischen Alltagserlebnissen. Das Krebsproblem kann nach all den durchgeführten Experimenten als geklärt

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms

betrachtet werden. Die Epidemiologie, so hat sich erwiesen, ist teuer und angesichts mangelnder Dosimetrie, störender Kofaktoren und geringer Fallzahlen auf diesem Gebiet wenig aussagekräftig. Wachsam sollte man allerdings die technische Entwicklung verfolgen und qualitative sowie quantitative Änderungen durch biologische Forschung kritisch begleiten.

*Prof. em. Dr. Roland Glaser
Humboldt-Universität zu Berlin*

Kenneth R. Foster

Abschluss des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms zu Gesundheitsrisiken des Mobilfunks

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm, DMF, mit einer Laufzeit von 2002 bis einschließlich 2008, war mit Sicherheit eines der produktivsten von vielen Forschungsprogrammen, die weltweit zu vermuteten Gesundheitsgefahren drahtloser Kommunikationstechnologien durchgeführt wurden. Mit einem Volumen von 17 Mio. Euro förderte das Programm 54 Projekte zu einer breiten Palette von Themen, von Grundlagenforschung zu Interaktionsmechanismen zwischen Hochfrequenzfeldern (HF) und biologischen Systemen bis zur Risikokommunikation.

Jetzt, da das DMF so gut wie beendet ist, lohnt es sich, einen Blick auf das Erreichte zu werfen und, was noch wichtiger ist, zu überlegen, wie man weiter auf die noch bestehenden gesundheitlichen Bedenken in der Öffentlichkeit reagieren sollte. Die wissenschaftlichen Resultate des DMF wurden auf einer Konferenz im Oktober 2007 in München analysiert (ich war damals der Berichterstatter).¹ Zudem veranstaltete das DMF auch eine Abschlusskonferenz im Juni 2008 in Berlin und gab einen Schlussbericht heraus.²

1 Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm. Internationaler Workshop zu Langzeitwirkungen. München, 11. bis 12. Oktober 2007. Rapporteursbericht. Im Internet verfügbar auf www.emf-forschungsprogramm.de/home/abschlussphase/RapporteurReport_Foster_final.pdf

2 Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms. Diese können bei Wissenschaft GmbH, Post-fach 10 11 10, Bürgermeister-Smidt-Straße 74-76, 27568 Bremerhaven (BfS-SG-08/2008, ISBN 978-3-86509-826-9), bestellt werden.

Ein erfolgreiches Modell

Das DMF scheint in meinen Augen ein überaus erfolgreiches Modell eines von einer Regierung organisierten Forschungsprogramms gewesen zu sein. Der Etat wurde zur Hälfte von den Betreibern der mobilen Telefonnetzwerke getragen (der Rest wurde vom Staat zur Verfügung gestellt), die Forschungsarbeit wurde verantwortlich nur von Vertretern einer Regierungsbehörde, dem Bundesamt für Strahlenschutz, BfS, geplant und beaufsichtigt.

Die auf der Konferenz im Oktober 2007 nachbereiteten Projekte betrafen in der Hauptsache potentiell mögliche Wirkungen der Langzeitexposition von Tieren gegenüber der Emission von Hochfrequenzfeldern. Im Ganzen gesehen waren diese Studien sehr eindrucksvoll. Die Auswahl der Themen war gelungen, das Studiendesign anspruchsvoll, und auch die Durchführung der Studien ließ insgesamt wenig zu wünschen übrig. Im Ergebnis erschienen zahlreiche Artikel in begutachtenden Fachzeitschriften (peer-reviewed); außerdem hat das DMF umfangreiches Material (wie zum Beispiel ganze Forschungsberichte) auf seiner Webseite dokumentiert.³ Ein durchdachteres, besser organisiertes Forschungsprogramm könnte man sich nur schwer wünschen und vorstellen.

Darüber hinaus hat die Regierung mit dem Programm ein erfolgreiches Modell entwickelt, in dessen Rahmen die Industrie Forschung zu möglichen Gesundheitsfolgen ihrer Produkte fördert, wozu sie moralisch verpflichtet ist, während zugleich ein gewisser Abstand des Forschungsmanagements zur Industrie gewahrt blieb, um mögliche Interessenskonflikte zu vermeiden.

Antworten auf durch frühere Forschung aufgeworfene Fragen

Viele der DMF-Projekte sollten frühere Berichte über Wirkungen von Hochfrequenzenergie (HF-Emission) überprüfen, die Fragen zu möglichen gesundheitlichen Wirkungen von HF-Wellen bei Intensitäten aufwarfen, wie sie auch von mobilen Telefon-Handgeräten erzeugt werden.

So zum Beispiel untersuchten zwei DMF-Projekte in der Nachfolge früherer Berichte von L.G. Salford und Kollegen (Lund, Schweden) mögliche Wirkungen von Hochfrequenz-

3 <http://www.emf-forschungsprogramm.de/>

befeldung auf die Bluthirnschranke von Ratten.⁴ Keines der beiden DMF-Projekte, weder das von Lagroye und Kollegen (Bordeaux) noch das von Stohrer (München), bestätigte die Ergebnisse von Salford, wenn auch die Gruppe aus Frankreich Änderungen der Bluthirnschranke bei Anwendung der höchsten Expositionsintensitäten feststellte (wobei es sich, wie ich glaube, um thermisch induzierte Artefakte der Messung gehandelt haben könnte).

Während die beiden Studien einen wichtigen Beitrag zur Literatur zu diesem umstrittenen Thema darstellen, werden sie wohl keinen Schlusstrich unter die Diskussion zu dem Thema ziehen. Die Wissenschaftler diskutieren seit Anfang der siebziger Jahre über Wirkungen (oder fehlende Wirkungen) der Hochfrequenzexposition auf die Bluthirnschranke. Von einer Wirkung wurde erstmalig 1972 in einem Kurzarbeit in einer ukrainischen Fachzeitschrift berichtet. Wenig später (1975) berichtete ein amerikanischer Forscher von einer primitiven Studie, die andeutete, dass die Exposition gegenüber HF-Energie sich nachteilig auf die Bluthirnschranke von Ratten auswirke. Im Verlauf weniger Jahre folgte eine Reihe zunehmend anspruchsvoller Folgestudien - praktisch alle mit negativem Ergebnis, ausgenommen bei sehr hohen Intensitäten, die zu einer gefährlichen Erhitzung des Hirns führten -, die das Thema vorläufig zu beenden schienen, bis eine neuere Arbeit von Salford u. a. es erneut auf die Tagesordnung setzte. Salford, so in einem neuen Übersichtsartikel (2008), behauptet weiterhin, dass eine Wirkung existiere, erkennt jedoch die Inkonsistenz der Beweislage an.

Schon die Möglichkeit, dass HF-Felder niedriger Intensität die Bluthirnschranke schädigen könnten, scheint paradox. Es sind andere Substanzen bekannt, die sich auf die Bluthirnschranke nachweislich auswirken können - ins Gehirn injizierte hypotone Salzlösung, hohes Fieber oder hohe Dosen toxischer Substanzen - und die sehr belastend für das Tier sind. Zudem ist es schwer, kleine Veränderungen der Schranke verlässlich festzustellen, und ihre Bestimmung ist sehr anfällig für Artefakte. Ohne die langjährige Kontroverse über diese Wirkung würde dieser biologische Endpunkt wohl als ungeeignet betrachtet, um nach möglichen sehr geringen Wirkungen von HF-Energie niedriger Intensität zu suchen.

Folglich sind die vom DMF geförderten Studien von Lagroye und Stohrer zur Bluthirnschranke Teil einer langen Geschichte. Dass es ihnen nicht gelang, signifikante Wirkun-

gen bei gewöhnlich vorkommenden Intensitäten zu finden (denen ein Nutzer von Seiten eines Mobiltelefons ausgesetzt sein könnte), lässt stark vermuten, dass die Wirkungen, wenn es sie überhaupt gibt, vermutlich klein und unbedeutend sind. Als Ergebnis dieser im Rahmen des DMF geförderten Arbeit ist es wohl wenig wahrscheinlich, dass Gesundheitsbehörden sich noch viel länger mit diesem Thema befassen. Andere DMF-Studien konnten auch früher berichtete Wirkungen von HF-Exposition auf Schlaf, Kognition, Parameter des Immunsystems, Reproduktion, Entwicklung und Kopfschmerzen sowie andere Endpunkte nicht belegen.

Wichtige Tier- und epidemiologische Studien

Das DMF umfasste auch mehrere Langzeittierstudien, die chronische Wirkungen der Exposition gegenüber HF-Feldern untersuchten. Besonders A. Lerchl und Kollegen (Bremen) führten mehrere Langzeitstudien mit genetisch modifizierten Mäusen (Entwicklung von Lymphomen) bezüglich einer Zunahme von Lymphomen nach Exposition gegenüber GSM- oder UMTS-Strahlung verschiedener Intensitäten durch. Desgleichen führte die Gruppe eine Studie über vier Generationen von Mäusen durch, um mögliche Wirkungen auf Reproduktion und Entwicklung zu untersuchen. Die Studien stellten keine schädigenden Wirkungen der Exposition durch HF-Felder in diesen Tieren fest.

Ebenso waren mehrere epidemiologische Studien Teil des DMF. In einer Folgestudie zu seiner früheren Arbeit zu diesem Thema untersuchte A. Stang (Halle-Wittenberg) den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und uvealen Melanomen (ein seltener Krebs des Auges). Im Vergleich zu seiner früheren Studie war Stangs aktuelle Studie weit aussagekräftiger aufgrund der größeren Probenanzahl, dem Einsatz verschiedener Kontrollgruppen zur Vermeidung von „Selection Bias“ und der Nutzung des INTERPHONE-Fragebogens zur Abschätzung der Expositionshöhen. Anders als in seiner ersten Studie wurde hier kein Zusammenhang zwischen Krebs und Mobiltelefonen festgestellt. Merzenich und Kollegen (Mainz und Kopenhagen) berichteten von einer Studie zur Leukämierate von Kindern nach Exposition gegenüber HF-Emission von Fernseh- und Radiosendemasten. Die Studie, die ein negatives Ergebnis aufwies, war breiter angelegt und zeigte eine bessere Expositionsabschätzung als eine aktuelle koreanische Studie zu diesem Thema. Im Gegensatz zu der früheren Studie zeigte diese neuere Arbeit „kein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie in Zusammenhang mit HF-EMF“ auf.

⁴ Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR., Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones, *Env. Health Persp.* 111:881-883 (2003).

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms

Wie geht es weiter?

Wie einer der Teilnehmer an der Konferenz im Oktober 2007 bemerkte, " wir haben zur Gewissheit beigetragen, dass durch EMF kein größeres Risiko besteht, als zum Beispiel von Krebs infolge von Rauchen," ist dies zu kurz gedacht. Tatsächlich hat das DMF weit mehr geleistet. Während die Studien vielleicht nicht genau die waren, die man ausgewählt hätte, würde das Programm jetzt gestartet, so bestärken sie doch insgesamt das Vertrauen darin, dass die Exposition gegenüber HF-Energie wohl keine größeren Risiken mit sich bringt, und sie haben geholfen, sich mit Fragen auseinander zu setzen, die frühere Studien aufgeworfen haben.

Es stellt sich die Frage: wie soll es jetzt, nach Abschluss des DMF, weitergehen? Erstaunlicherweise ist diese Frage schwer zu beantworten. Die Diskussionen sowohl auf der Konferenz im Oktober 2007 als auch auf verschiedenen FGF-Konferenzen, die ich besucht habe, konzentrierten sich in der Tendenz mehr auf Auflisten dessen "was wir nicht wissen", anstatt auf Listen spezifischer wissenschaftlicher Fragen, die beantwortet werden müssen. Mit anderen Worten, Aufrufe zu weiterer Explorationsforschung können endlos fortgesetzt und Listen möglicher Themen ewig fortgeschrieben werden. Während die im Allgemeinen negativen Ergebnisse der im Rahmen des DMF geförderten Forschung die von den Forschern gestellten Fragen beantworten konnten, haben sie gleichzeitig nur wenige Anhaltspunkte für die künftige Arbeit geliefert.

In den Augen der Öffentlichkeit kommt dem möglichen Zusammenhang zwischen der Langzeitnutzung von Mobiltelefonen und Krebs größte Bedeutung zu. Diese Problematik wird schwierig zu klären sein. Eine Pilotstudie von Blettner und Kollegen (aus Mainz, Heidelberg, Bielefeld, Kopenhagen) zeigte die Schwierigkeiten auf, die damit verbunden sind, in Deutschland eine prospektive Kohortenstudie zu Hirntumoren und der Langzeitnutzung von Mobiltelefonen durchzuführen. Zwei Hauptgründe dafür sind der deutsche Datenschutz und die geringen Antwortraten potenzieller Teilnehmer an ihrer Pilotstudie. Blettner und Kollegen folgerten, dass es mit zu hohen Kosten verbunden wäre, eine Kohorte von der Größe (etwa 50.000 Teilnehmer) zusammenzustellen, die man für eine zufriedenstellende Studie braucht. Vielleicht, wie ein Teilnehmer der Konferenz vom Oktober 2007 anregte, wäre es am besten, gegenwärtig

von epidemiologischen Studien Abstand zu nehmen und die Mittel dazu zu benutzen, das Deutsche Krebsregister auszubauen, in der Hoffnung, dass in Zukunft eine bessere Studie durchgeführt werden könne.

Es besteht sicherlich kein Mangel an berichteten Wirkungen von HF-Feldern, die man weiterverfolgen könnte. Das Kunststück wird darin bestehen, Studien auszuwählen, welche die Risikoabschätzung weiterbringen, und sich davor zu hüten, sich auf unproduktive Kontroversen wie jene über angebliche Wirkungen von HF-Energie auf die Bluthirnschranke einzulassen. Ein mögliches Ziel wäre vielleicht, die Verwendung von "omics"-Studien (Genomics und Proteomics) in der Risikoabschätzung zu verbessern. Bei den bisher durchgeführten Studien zur Genexpression und anderen "omics"-Studien zu HF-Feldern handelte es sich im Allgemeinen um Explorationsstudien. Die Suche nach Veränderungen in der Genexpression zum Beispiel, bei der **Arrays** (Probenträger) benutzt werden, die viele verschiedene **Assays** (Proben) kombinieren, muss notwendigerweise zu vielen falsch-positiven Resultaten führen. Zudem kann die gesundheitliche Signifikanz einer jeden beobachteten Wirkung schwer zu beurteilen sein. Vielleicht können diese Ansätze in der künftigen Arbeit zu einem verlässlichen Instrument des Screening entwickelt werden, das dabei hilft, Gesundheitsrisiken zu identifizieren und den Bereich der Risikoabschätzung insgesamt voranzubringen.

Ist das Fehlen einer klaren Perspektive bezüglich dieser Frage auch das "Ende der Wissenschaft" in dieser Frage, wie ein Vertreter der deutschen Regierung es auf der Konferenz im Oktober 2007 formulierte? Derselbe Teilnehmer stellt auch fest, dass das politische Führungspersonal auf die Forderungen der Öffentlichkeit reagieren müsse, die Regierung müsse "etwas tun", um die Gesundheit der Bürger zu schützen. Es bleibt ein starker politischer, wenn auch nicht klar definierter wissenschaftlicher Bedarf, die Arbeit zu dieser Frage fortzusetzen.

Angesichts der gegenwärtigen ökonomischen Situation drängt es wohl weder die Bundesregierung noch die deutsche Telekommunikationsindustrie, die Forschungsförderung in diesem Bereich fortzusetzen. Und doch wird es unmöglich sein, sich angesichts der fortgesetzten Forderungen der Öffentlichkeit, auf ihre gesundheitlichen Bedenken einzugehen, vollends von der Problematik abzu-

wenden. Vertreter des BfS haben mir gegenüber überdies erklärt, das Amt sähe nach wie vor Forschungsbedarf, zum Beispiel bezüglich der Untersuchung möglicher Wirkungen der Langzeitexposition gegenüber den HF-Feldern drahtloser Kommunikationstechnologien, und auch die Frage der EMF stehe noch auf seiner Forschungsagenda 2009. Sowohl das DMF als auch die Forschung der FGF haben einen bedeutenden Schatz an Sachkenntnis zu dieser umstrittenen Frage zusammengetragen, und man sollte ihn nicht vergeuden.

*Kenneth R. Foster,
Universität Pennsylvania, Fakultät für Biotechnologie*

Alexander Lerchl

Bewertung des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms: Tierexperimentelle Studien

Das Deutsche Mobilfunkforschungsprogramm (DMF) wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) konzipiert und aus Mitteln des Bundes und der Betreiber zu je 50% finanziert, ohne dass die Betreiber Einfluss auf die Auswahl oder die Bewertung der Einzelprojekte hatten. Die besonderen Merkmale dieses Programms waren vor allem Transparenz und die frühzeitige Beteiligung von Wissenschaftlern, die Vorschläge für Projekte einbringen konnten. Weiterhin war von Beginn an eine umfassende Information der Öffentlichkeit Bestandteil des Konzeptes. Dies betraf nicht nur die Bekanntgabe der einzelnen Projekte, sondern auch die Veröffentlichung von Zwischen- und Abschlussberichten auf den Internetseiten des DMF. Hierdurch war sichergestellt, dass zum Beispiel Fachjournalisten, aber auch Laien die Möglichkeit hatten, sich lückenlos über den jeweils aktuellen Stand der Forschungen zu erkundigen. Die fachkundige Betreuung der Einzelprojekte durch das BfS war ebenfalls für das Gelingen von größter Bedeutung.

Aus wissenschaftlicher Sicht war entscheidend, dass wichtige Qualitätsmerkmale im Voraus definiert und in den einzelnen Projekten berücksichtigt wurden. Dies betraf die Expositionsbedingungen beziehungsweise Messungen ebenso wie die biologischen Endpunkte und die Verblindung der Exposition bei experimentellen Ansätzen. Hierdurch war sichergestellt, dass die Ergebnisse methodisch und statistisch abgesichert

waren, eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz in der wissenschaftlichen Fachwelt und in der Öffentlichkeit.

Die Frage nach den möglichen biologischen Auswirkungen der Exposition zu elektromagnetischen Feldern (EMF) des Mobilfunks lässt sich auf verschiedenen Wegen beantworten. Durch epidemiologische Untersuchungen können Erkrankungsdaten in Abhängigkeit von der Exposition zu EMF erfasst werden. Bislang sind, bis auf wenige Ausnahmen, keine Hinweise oder gar Beweise für eine Gesundheitsgefährdung oder höhere Erkrankungsdaten gefunden worden. Die Beurteilungen durch nationale und internationale Gremien sind dementsprechend eindeutig: Gefahren für die Gesundheit werden als sehr unwahrscheinlich erachtet. Einschränkungen sind dort zu sehen, wo noch nicht genügend Langzeitdaten vorliegen, da der Mobilfunk erst vor etwa 15 Jahren flächendeckend verfügbar war. Es sollten also aus Gründen der Absicherung der bisherigen negativen Ergebnisse weitere Studien durchgeführt werden, um zu einer abschließenden Bewertung zu kommen. Eine weitere Limitierung der Aussage „Mobilfunk macht nicht krank“ ist dadurch gegeben, dass noch zu wenige Daten zu den Auswirkungen auf Kinder vorliegen. Aus Gründen der Vorsorge, nicht der wissenschaftlichen Faktenlage, sind daher Empfehlungen für einen vorsichtigen Umgang mit dieser Technologie für Kinder nachvollziehbar.



Eine zweite Strategie ist die Untersuchung von Zellen, um an ihnen primäre Effekte der Exposition zu untersuchen. Bislang wurden keine reproduzierbaren Belege dafür gefunden, dass unterhalb bestehender Grenzwerte Schädigungen auftreten. Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Exposition von Zellen in Suspensionen besondere Anforderungen an die Expositionseinrichtung stellt, da thermische Effekte sicher ausgeschlossen werden müssen. Eine generelle Limitierung von Versuchen an Zellen ist die Tatsache, dass alle Regelmechanismen, wie sie im intakten Organismus auftreten, in isolierten Zellen nicht greifen. Auch aus diesem Grund muss sichergestellt sein, dass die Bedingungen in den exponierten

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms

Zellsuspensionen identisch mit denen in den scheinexponierten sind.

Eine dritte Strategie ist die Verwendung und Exposition von Versuchstieren, in den meisten Fällen Mäuse und Ratten. Die im Vergleich zu Menschen wesentlich geringere Lebenserwartung ermöglicht es, die Überlebensraten lebenslang exponierter und scheinexponierter Tiere zu vergleichen. Zudem können Tierstämme untersucht werden, die eine spontan höhere Erkrankungsrate als andere Stämme haben, wodurch der Einfluss der Exposition auf den Zeitpunkt und den Verlauf der Erkrankung untersucht werden kann. Gleiches gilt für Krankheiten, die zum Beispiel durch krebserzeugende Substanzen verursacht werden. Expositionen im Kopfbereich erlauben es darüber hinaus, die möglichen Einflüsse auf die Blut-Hirnschranke (BHS) gezielt zu untersuchen. Gegenüber früheren Experimenten, in denen die Expositionsbedingungen häufig von geringer Qualität waren, sind die im DMF durchgeführten Versuche in dieser Hinsicht wesentlich besser und auch besser dokumentiert.

Die von Wissenschaftlern der Universität Bordeaux durchgeführten Untersuchungen an Ratten hatten zum Ziel, den von der Gruppe um Salford berichteten BHS-Effekten nachzugehen. Hierzu wurden die Tiere einmalig für 2 Stunden oder wiederholt über 4 Wochen für 2 Stunden am Tag im Kopfbereich exponiert. Sowohl bei UMTS als auch bei GSM 1800 bis zu einem im Gehirn auftretenden SAR-Wert von 13 W/kg (also deutlich über den bei Menschen geltenden Grenzwerten) zeigte sich keine erhöhte Durchlässigkeit der BHS als Folge der Exposition, weder nach einmaliger noch nach wiederholter Exposition. Auch das von Salford beschriebene Phänomen des Auftretens von „dark neurons“ konnte nicht bestätigt werden. Somit gelten die von Salford wiederholt berichteten Effekte als nicht unabhängig reproduziert.

Forscher der TU und LMU München haben Ratten über 3 Generationen exponiert (UMTS bzw. GSM 900, jeweils 0,4 W/kg) und aufwändige Untersuchung zur Fertilität, Entwicklung der Jungtiere sowie Lernverhalten und mögliche Effekte auf die BHS analysiert. Weiter wurden mögliche Auswirkungen auf das Immun- und das Stresssystem untersucht. Vergleiche mit scheinexponierten Tieren ergaben insgesamt keine negativen Auswirkungen der Exposition. Die auch in diesen Untersuchungen negativen Ergebnisse

hinsichtlich der Effekte auf die BHS unterstützen die Salford-Ergebnisse nicht.

Die vom Verfasser an der Jacobs-University in Bremen durchgeführten Versuche gingen der Frage nach, ob bei AKR-Mäusen, die eine spontan hohe Leukämieerkrankungsrate zeigen, durch lebenslange Exposition bei einem SAR-Wert von 0,4 W/kg (Ganzkörper) die Erkrankung früher auftritt und sich die Überlebensraten von scheinexponierten Tieren unterscheiden. Sowohl bei GSM 900 wie auch bei UMTS zeigten sich keine derartigen Auswirkungen. Allerdings wurde bei GSM 900 festgestellt, dass das Körpergewicht der exponierten Tiere im Versuchsverlauf geringfügig, aber signifikant über dem der scheinexponierten Tiere lag. Als Folge dieser Beobachtung wurde ein weiteres Experiment durchgeführt, um den Einfluss der Exposition auf die metabolischen Umsatzraten zu untersuchen. In der Tat zeigte sich, dass bei dem höchsten getesteten SAR-Wert von 4 W/kg, nicht jedoch bei 0,08 und 0,4 W/kg, Veränderungen der Atemgase als Surrogat für die metabolischen Umsatzraten beobachtet wurden und die Felltemperaturen anstiegen.

Ebenfalls vom Verfasser wurde ein Mehr-Generationen Versuch an normalen Mäusen durchgeführt, um die Frage zu beantworten, ob die lebenslange Exposition zu UMTS zu biologischen Effekten führt, die erst in nachfolgenden Generationen auftreten. Sowohl hinsichtlich der Fertilität als auch der Entwicklung der Tiere zeigten sich insgesamt keine derartigen Auswirkungen. Auch die Missbildungsrate wurden durch die Exposition nicht erhöht. Der Versuch wurde über insgesamt 4 Generationen bei 4 Expositionswerten inklusiv Scheinexposition durchgeführt. Der höchste SAR-Wert, berechnet für adulte Tiere, lag bei 1,3 W/kg und war bei jungen Tieren zum Teil deutlich darüber.

Elegante Versuche an Ratten, durchgeführt vom Hörforschungszentrum Tübingen, hatten das Ziel herauszufinden, ob eine lokale Exposition (GSM 900) im Bereich der Ohren das Hörsystem der Tiere beeinflusst, da Hörstörungen und Phantomgeräusche (Tinnitus) mit dem Gebrauch von Mobiltelefonen in Verbindung gebracht werden. Tragbare Antennen, die den Ratten im Kopfbereich angebracht wurden, ermöglichten eine lokale Exposition mit gut charakterisierten Expositionsbedingungen, ohne die Tiere we-

sentlich zu behindern. Die Verhaltenstests (Hörversuche) lieferten keine Hinweise auf negative Effekte auf die Hörschwelle sowie Induktion von Tinnitus.

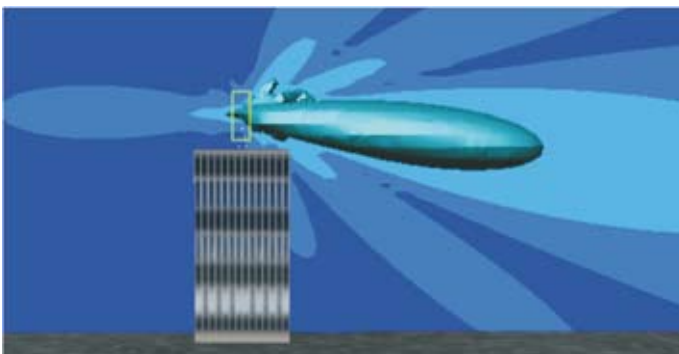
Das DMF hat insgesamt die Datenlage zur Frage nach gesundheitlichen Auswirkungen des Gebrauchs von Mobilfunk erheblich erweitert und in wichtigen Punkten ergänzt. Die hohe Qualität der Untersuchungen im hier betrachteten Sektor der Untersuchungen an Tieren und die negativen Ergebnisse lassen – trotz der unvermeidbaren Probleme der Übertragung von Ergebnissen aus Tierversuchen auf den Menschen – den Schluss zu, dass negative gesundheitliche Auswirkungen sehr unwahrscheinlich sind.

*Prof. Dr. Alexander Lerchl
Jacobs-University Bremen*

Matthias Wuschek
Christian Bornkessel

Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm: Ergebnisse der Studien zu Fragestellungen der Dosimetrie

Neben den direkt gesundheitsbezogenen Themenbereichen „Biologie“ und „Epidemiologie“ sowie den Fragestellungen zur Risikokommunikation wurde im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF) auch eine größere Anzahl an Forschungsprojekten auf dem Gebiet der Dosimetrie vergeben. Ausführliche Bewertungen des DMF sind im Laufe des Jahres 2008 bereits vom Bundesamt für Strahlenschutz [BFS 08] und der Strahlenschutzkommission [SSK 08] veröffentlicht worden. In folgendem Beitrag werden die wichtigsten Fragestellungen sowie Resultate der dosimetrischen Studien des DMF kurz vorgestellt.



Welche wesentlichen Fragestellungen sollten durch die Forschungsprojekte bearbeitet werden?

Die im Rahmen der dosimetrischen Projekte durchgeführten Untersuchungen lassen sich bezüglich ihrer Aufgabenstellung in die folgenden beiden Hauptgruppen unterteilen:

1. Entwicklung beziehungsweise Verbesserung von Verfahren zur Expositionsbestimmung bei Hochfrequenzfeldern:
 - Entwicklung von Verfahren zur hinreichend genauen Erfassung der maximal möglichen und durchschnittlichen Exposition, der die Bevölkerung durch neue Technologien der drahtlosen Kommunikation ausgesetzt ist (Messtechnik und Berechnungsverfahren).
 - Verbesserung der dosimetrischen Verfahren zur Expositionsklassifikation bei Experimenten an Zellen, Labortieren und Probanden (Untersuchungen zur intrakorporalen Expositionsverteilung, Verfeinerung vorhandener anatomischer Modelle und entsprechender Berechnungsverfahren, Entwicklung verbesserter Expositionseinrichtungen).
 - Entwicklung von Verfahren zur einfachen Expositionsabschätzung für epidemiologische Studien.
2. Bestimmung der realen Expositionssituation bei wichtigen neuen Technologien der drahtlosen Kommunikation:
 - Expositionsbestimmung in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen (GSM, UMTS).
 - Bestimmung der SAR-Werte, die bei der alltäglichen Mobiltelefonnutzung auftreten.
 - Exposition bei der Mobiltelefonnutzung in teilgeschirmten Räumen (zum Beispiel Fahrstühlen, Eisenbahnwaggons, Kfz).
 - Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro (DECT, WLAN, Bluetooth, UWB, Babyphone).
 - Reale Feldverteilung bei WLAN-Einrichtungen in innerstädtischen Gebieten.
 - Bestimmung der Exposition in der Umgebung von digitalen Hörfunk- und TV-Sendern.
 - Entwicklung von rechentechnischen Verfahren zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Expositionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen.

Insgesamt wurden 15 Forschungsprojekte vergeben, von denen inzwischen alle abgeschlossen sind. Genauere Be-

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms

schreibungen der einzelnen Forschungsvorhaben sowie die Abschlussberichte sind über die Homepage des DMF (www.emf-forschungsprogramm.de) abrufbar.

Was waren die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen?

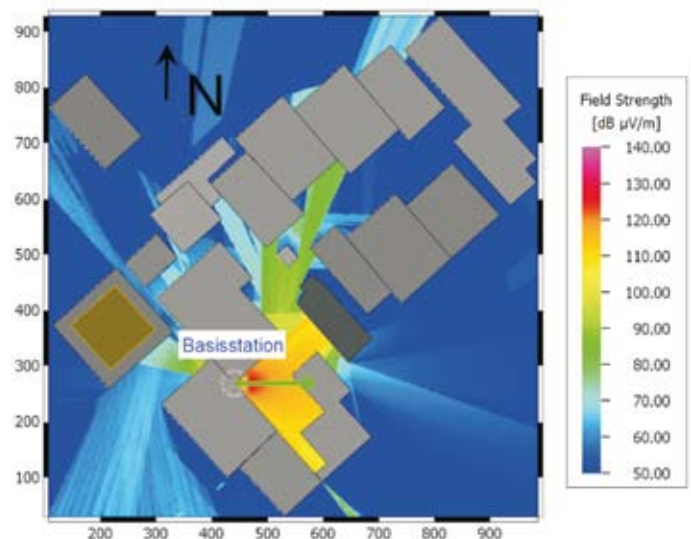
Zur Expositionserfassung der Allgemeinbevölkerung im Umfeld von ortsfesten Sendeanlagen (GSM, UMTS, Tonrundfunk, Fernsehen, WLAN Access Points, DECT-Basisstationen, UWB) wurden geeignete Messverfahren entwickelt und Berechnungsverfahren evaluiert. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der notwendigen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

Insgesamt hat sich bestätigt, dass der laterale Abstand zum Sender als Schätzer für die vorliegende Immission nicht geeignet ist. Selbst verbesserte Ansätze unter Berücksichtigung der Orientierung zur Hauptstrahlrichtung und der direkten Sichtverbindung erwiesen sich allenfalls für eine dichotome Zuordnung in Exponierte und nicht Exponierte anwendbar, so dass insbesondere bei epidemiologischen Untersuchungen die Bedeutung der messtechnischen Expositionserfassung (zum Beispiel mit Personendosimetern) weiterhin zu unterstreichen ist.

Die messtechnische Untersuchung der Expositionen gegenüber Emissionen von Endgeräten hat gezeigt, dass bei körpernaher Anwendung höhere Ausschöpfungen der Grenzwerte erreicht werden als durch die zu den Endgeräten gehörenden ortsfesten Sendeanlagen (Basisstationen). Im Gegensatz zu unter Maximierungsbedingungen normgerecht ermittelten SAR-Werten von Mobiltelefonen wird die tatsächliche Exposition des Nutzers unter Realbedingungen unter anderem 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 städtischer Umgebung 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 sind die Sendeleistungspegel und damit verbundene SAR-Werte deutlich niedriger.

Untersuchungen in teilgeschirmten Räumen haben gezeigt, dass durch Handynutzung relative Expositionserhöhungen bei in der Nähe befindlichen Nichttelefonierern um den Faktor 10 gegenüber dem Freiraumfall auftreten können, dass jedoch die Expositionen insgesamt auf sehr niedrigem Niveau bleiben. Damit konnten frühere Arbeiten, die aufgrund vereinfachter theoretischer Ansätze über eine Überschreitung der Grenzwerte in teilgeschirmten Räumen berichteten, nicht bestätigt werden. Für aktive Telefonierer sind die möglichen Erhöhungen der SAR gegenüber der Nutzung im Freien nur moderat; lediglich bei Annäherung des Handys an reflektierende Metallstrukturen kann es zu SAR-Erhöhungen bis zu circa 30 - 50 % kommen.



Dosimetrische Untersuchungen zur Bestimmung der Exposition von Versuchstieren haben wichtige Grundlagen für die Konzeption von Expositionseinrichtungen und die Vergleichbarkeit von Tierexperimenten (Tiere gleicher Art) auf Basis organspezifischer Dosis geliefert. Bezüglich der Ermittlung von SAR-Verteilung und Gewebeerwärmung durch am Körper getragene Endgeräte konnten umfangreiche Daten gewonnen werden, wobei bereits aus Vorgängeruntersuchungen bekannte Hotspots bei Resonanz in geschichteten Körperstrukturen bestätigt wurden. Durch feinere Diskretisierung von empfindlichen Organen innerhalb des menschlichen Kopfes (Auge, Innenohr, Pinealdrüse) ergaben sich gegenüber früheren Simulationen mit gröberen Auflösungen keine grundsätzlich anderen Ergebnisse.

Das Projekt zur Erfassung des Immissionszustandes vor und nach der Umstellung von Analog-TV auf DVB-T hat gezeigt, dass eine technologiebegleitende Untersuchung generell sinnvoll ist. Die Umstellung von analogem auf digitales Fernsehen war nicht grundsätzlich mit einer Verringerung der Exposition, sondern in manchen Situationen auch mit Erhöhungen verbunden.

Insgesamt konnten im Rahmen der dosimetrischen Studien wichtige Grundlagen für die verbesserte Durchführung von Tierexperimenten und epidemiologischen Studien und die Erfassung der Immissionen und Expositionen im Alltag erarbeitet werden. Es hat sich gezeigt, dass die gleichzeitige Exposition durch mehrere Quellen zu berücksichtigen ist. Die Zusammenarbeit von Experten aus Biologie, Epidemiologie und Hochfrequenztechnik konnte insgesamt verbessert werden.

Offene Fragen, weiterer Forschungsbedarf?

Obwohl durch die dosimetrischen Projekte des DMF eine Vielzahl bisher unzureichend geklärter Fragestellungen nun deutlich besser beantwortet werden kann, ergeben sich auch weiterhin noch offene Fragen und Aufgaben, die im Rahmen zukünftiger Untersuchungen bearbeitet werden sollten. Dazu gehören insbesondere folgende Fragestellungen:

- Die Ergebnisse der im DMF durchgeführten Studien zu Teilkörperexpositionen werfen Fragen bezüglich möglicher Temperaturerhöhungen bei Exposition in Höhe der aktuellen Basisgrenzwerte für beruflich Exponierte auf.
- Die Frage, welche Immissionsgröße (zum Beispiel räumlicher und/oder zeitlicher Mittelwert oder Maximalwert) ermittelt werden sollte, ist noch nicht abschließend beantwortet.
- Das DMF hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, die Evaluierung der maximalen beziehungsweise typischen Exposition der Bevölkerung durch neue Technologien (zum Beispiel TETRA, LTE, 4G, DVB-H, Femto-Zellen, RF-ID) technologiebegleitend durchzuführen. Hier sollten zukünftig durch geeignete Projekte zeitnah Informationen über Technik und Exposition in die Risikobewertung einfließen.
- Für die Expositionsbestimmung im Rahmen von epidemiologischen Studien können in Zukunft eventuell Personendosimeter verstärkt eingesetzt werden, die allerdings noch genauer untersucht werden müssen zum Beispiel in Hinblick auf Isotropie, Genauigkeit der

Anzeige insbesondere unter dem Aspekt des Tragens am Körper im Vergleich zum Einsatz „ohne Körper“, „Übersprechen“ in benachbarte Frequenzbereiche und so weiter.

- Zur Expositionsbestimmung durch numerische Simulation sind anatomische Modelle für Schwangere verschiedenen Schwangerschaftsstadiums und für Kinder(köpfe) verschiedenen Alters sowie hoch auflösende Modelle für höhere Frequenzen zu entwickeln.
- Angesichts höherer Frequenzen, feiner auflösender Modelle und jüngerer Exponierter sind die Größe und die Form des Teilkörpervolumens zu hinterfragen, über das die spezifische Absorptionsrate ermittelt (gemittelt) wird. Eine wichtige Herausforderung stellt die Berechnung der Temperaturerhöhung als biologisch relevantere Größe zur Risikoabschätzung dar.

Zusammenfassend kann jedoch festgehalten werden, dass die im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms durchgeführten dosimetrischen Projekte eine Vielzahl bisher offener Fragen beantworten sowie den technologischen Stand der Expositionsmesstechnik beziehungsweise der computerunterstützten Immissionsbestimmung innerhalb und außerhalb des Körpers deutlich erweitern konnten. Somit wurde auch durch die dosimetrischen Projekte ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlage für die gesundheitliche Bewertung der Exposition durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks geleistet.

Literatur

[BFS 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), Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Salzgitter (2008).

[SSK 08] Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 223. Sitzung der SSK am 13.05.2008, (2008).

*Prof. Dr. Matthias Wuschek, Hochschule Deggendorf
Dr.-Ing. Christian Bornkessel, IMST GmbH*