

Rapporteursberichte zum Internationalen Workshop „Open Questions in the Research on Biological & Health Effects of Low-Intensity RF-EMF“ Stuttgart, 17.-19. November 2008

KINDER & ANDERE SPEZIFISCHE GRUPPEN

Vorsitz: Bernard Veyret

Rapporteur: Kenneth R. Foster, Department of Bioengineering
Universität Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA

Die Sitzung setzte sich ausführlich mit der Möglichkeit auseinander, dass Kinder und andere empfindliche Gruppen bei der Absorption von RF-Energie einem besonderem Risiko ausgesetzt sein könnten.

Im Mittelpunkt des ersten Vortrags, präsentiert von **Andreas Christ** (IT'IS-Stiftung, Zürich), stand eine dosimetrische Studie mit dem Titel „RF-Absorption und Temperaturverteilung in den Köpfen von Kindern“. Christ gab einen Überblick über die umfassenden Studien, die von ihm und seinen Kollegen bei IT'IS durchgeführt wurden, um die von mobilen Telefon-Handgeräten im Kopf erzeugten SAR-Werte sowie die entsprechenden Temperaturerhöhungen im Kopf zu bestimmen. Er untersuchte mehrere Faktoren, welche die von Mobiltelefonen erzeugten SAR-Werte im Kopf bestimmten, darunter das Telefonedesign und anatomische Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern. In seiner Arbeit fand er keine charakteristischen altersabhängigen Unterschiede in den durchschnittlichen räumlichen SAR-Spitzen im Kopf. Allerdings wiesen einige Hirnregionen von Kindern aufgrund des kleineren Kopfes und der dünneren Schädeldecke einen höheren SAR-Wert auf als die von Erwachsenen, da sich die Antenne des Handgeräts bei Kindern - im Gegensatz zu Erwachsenen - näher am Gehirn befindet. Christ berichtete von experimentellen Messungen und Modellrechnungen, die zeigten, dass der Temperaturanstieg im Kopf aufgrund der RF-Exposition bei Nutzung eines Mobiltelefons gering ist, zum Beispiel 0,05 °C im Hörkanal oder in der Wange; der Temperaturanstieg war also bei Kindern nicht höher als bei Erwachsenen. Auch stellte er fest, dass die Ganzkörper-Expositionsgrenzwerte der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) im Frequenzbereich zwischen 1,5 und 4 GHz für Kinder „nicht konservativ“ sind, bezogen auf den Umstand, dass Ganzkörper-Expositionen von Kindern in diesem Frequenzbereich bei den ICNIRP-Grenzwerten in Ganzkörper-



Kenneth R. Foster und
Jochen Buschmann

KINDER & ANDERE SPEZIFISCHE GRUPPEN

SARs resultieren könnten, die um 50 % höher seien als die Basisgrenzwerte der ICNIRP.

In der diesem Beitrag folgenden Diskussion stellte sich die Frage: welcher Genauigkeitsgrad ist in den dosimetrischen Daten zu Mobiltelefonen erforderlich? Wie ein Teilnehmer anregte, will die Öffentlichkeit genaue Informationen über die SAR-Verteilung im Gehirn bei Nutzung eines mobilen Telefon-Handgeräts erhalten. Ein anderer Teilnehmer widersprach dieser Auffassung und brachte zum Ausdruck, dass es, vorausgesetzt die Basisgrenzwerte der ICNIRP würden eingehalten, selbst für Experten unmöglich sei, die genaue SAR-Verteilung hinsichtlich möglicher Gesundheitsfolgen zu interpretieren, und folglich seien solch genaue Informationen von geringem Nutzen für die Öffentlichkeit.

Martin Rösli (Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern) thematisierte im zweiten Vortrag der Sitzung („Studien zu den Wirkungen elektromagnetischer Radiofrequenzfelder auf Kinder“) 19 epidemiologische Studien zur RF-Exposition von Kindern. Insgesamt zeigten die Studien keine kognitiven Wirkungen von RF-Exposition auf Kinder, ausgenommen einer Studie, die von Wirkungen der Nutzung eines Mobiltelefons auf das EEG berichtete. Eine neuere Studie (2008) von Divan et al. stellte fest, dass die Nutzung eines Mobiltelefons durch Frauen während der Schwangerschaft mit späteren Verhaltensproblemen beim Kind verbunden war, doch wies Rösli auf einige Schwierigkeiten bei der Interpretation der Studie hin. Ein größeres Problem der Studie, so Rösli, bestand darin, dass ein Fragebogen benutzt wurde, um Aufschluss über die Mobiltelefonnutzung werdender Mütter während der Schwangerschaft zu erhalten. Außerdem merkte Rösli an, dass einige positive Zusammenhänge zwischen dem Wohnort in der Nähe von RF-Sendern und Kinderleukämie, die zuvor berichtet worden waren, von zwei jüngeren Studien nicht bestätigt werden konnten (Ha et al. 2007, Merzenich et al. 2008).

Diesem Vortrag folgte eine kurze Diskussion über erforderliche künftige epidemiologische Studien in diesem Bereich. Rösli empfahl zwei unterschiedliche Arten von Studien: epidemiologische Studien zur Einwirkung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft und Langzeitstudien (prospektive Kohortenstudien). Darüber hinaus vertrat er die Meinung, es müssten auch zusätzliche Verhaltensstudien durchgeführt werden.

Geza Benke (Monash Universität, Australien) präsentierte seinen Vortrag „Kognitive Funktion und Mobiltelefonnutzung bei Schulkindern“ zu seiner Studie (MoRPhEUS). In der Studie wurde eine Auswahl kognitiver Folgen bei Kindern von 11 bis 15 Jahren in Verbindung mit der Nutzung eines mobilen Telefon-Handgeräts abgeschätzt, die mit Hilfe eines Fragebogens eruiert worden war. Zahlreiche statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und kognitiver Leistung wurden festgestellt: die Mobiltelefonnutzung war mit „schnelleren und weniger genauen Antworten auf komplexere kognitive Aufgaben“ verbunden, was „möglicherweise auf impulsiveres Verhalten mit zunehmender Nutzung“ zurückzuführen sein könnte“ oder „durch die häufige Nutzung eines Mobiltelefons erlernt war“. Wie Benke bemerkte, seien die Wirkungen ähnlich, gleichgültig ob das Handgerät für Anrufe oder für Textnachrichten verwendet wurde, was er als einen Hinweis darauf interpretierte, dass die beobachteten Wirkungen nicht mit der Einwirkung von RF-Energie verbunden seien.

Heidi Danker-Hopfe (Charité Universitätsmedizin, Berlin) präsentierte ihren Vortrag mit dem Titel „Schlaf und RF-EMF - haben ältere Menschen ein erhöhtes Risiko, an Schlafstörungen zu leiden?“ Sie gab eine Übersicht über die Literatur zu Mobiltelefonnutzung und Schlafstörungen. Die Literatur, so hielt sie fest, sei sehr gemischt, zeige aber keine konsistenten Veränderungen des Schlafs oder des EEG bei Nutzung von Mobiltelefonen auf. Sie beschrieb ihre Studie mit 376 Probanden, die repräsentativ für die deutsche Bevölkerung zwischen 18 und 81 Jahren waren. Die Studie stellte fest, dass ältere Testpersonen sich mehr um mögliche gesundheitliche Wirkungen von Basisstationen des Mobilfunks und von Mobiltelefonen sorgten als jüngere Personen. Anhand einer Reihe von Messungen von Schlaffeffizienz und Schlaflatenz stellte die Studie eine verminderte Schlafqualität in Testpersonen fest, die sich über Gesundheitsrisiken in Zusammenhang mit Mobilfunk-Basisstationen Sorgen machten. Allerdings, so schloss sie, hätte weder eine Exposition von GSM 900 noch von UMTS eine Kurzzeitwirkung auf den Schlaf (im Gegensatz zu Wirkungen gesundheitlicher Bedenken in Verbindung mit Mobilfunk-Basisstationen), und ihre gegenwärtigen Resultate stützten nicht die Ansicht, wie es manchmal in der Öffentlichkeit heiße, dass die Einwirkung von RF-Energie Schlafstörungen verursache.

Carmela Marino (Casaccia Research Center, ENEA, Rom) hielt einen Vortrag über die Studie „Messung der Exposition neugeborener Tiere gegenüber WiFi-Signalen“. Die noch laufende Studie untersucht die Exposition von Mäusen gegenüber WiFi-Signalen (2462 MHz, 0 bis 4 W/kg, 2 Std./Tag und 5 Tage/Woche). Schwerpunkte des Vortrags waren die in der Studie verwendete experimentelle und numerische Dosimetrie und Methoden der Exposition.

BERICHT ZUR WORKSHOP-SITZUNG „LANGZEIT-TIERSTUDIEN UND RF“

Vorsitz: Alexander Lerchl und Jochen Buschmann

Rapporteur: Jochen Buschmann, Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin, Hannover, Deutschland

Die Hauptfragen, die in dieser Sitzung des Workshops erörtert wurden, waren:

1. Können Ein- oder Mehrgenerationen-Tierstudien als „Langzeitstudien“ hinsichtlich der Situation von Menschen betrachtet werden?
2. Handelt es sich bei der thermischen Regulation um einen Mechanismus, der bei Expositionen unterhalb der Grenzwerte zu berücksichtigen ist?

Die Sitzung des Workshops umfasste sechs Vorträge. Im Folgenden werden nur die Hauptschlussfolgerungen der Vorträge wiedergegeben. Zu weiterer Information sei der interessierte Leser auf die Kurzzusammenfassungen (Abstracts) und die Vorträge selbst verwiesen, zu finden unter:

<http://www.fgf.de/forschungsprojekte/ws19.html>.

Der erste Vortrag dieser Sitzung unter dem Titel „Messung der Exposition neugeborener Tiere gegenüber WiFi-Signalen“ wurde von **Carmela Marino** gehalten. Der Schwerpunkt des Vortrags lag auf der Entwicklung dosimetrischer Methodologien und experimenteller Verfahrensweisen der Ganzkörper-Radiofrequenzexposition neugeborener Mäuse, und es konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, Experimente mit neugeborenen Tieren unter kontrollierten EM-Feldbedingungen

LANGZEIT-TIERSTUDIEN UND RF

durchzuführen, so dass in Zukunft spezifische Verfahrensweisen übernommen werden können.

Im nächsten Vortrag gaben **Clemens Dasenbrock** und **Jochen Buschmann** (beide Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin, Hannover) einen Überblick über „In-vivo-Studien mit RF-Exposition am Fraunhofer-Institut in Hannover“. Das Hauptinteresse des Vortrags galt dabei den Ergebnissen des kürzlich abgeschlossenen EU-Projekts PERFORM-A, das potenzielle karzinogene und cokerzinogene Wirkungen in Tiermodellen untersuchte. Insgesamt wurde festgehalten, dass drei von vier Studien keinen Beweis für eine Wirkung der Exposition (GSM- und DCS-Signal) auf das Vorkommen oder die Stärke neoplastischer oder nicht-neoplastischer Läsionen lieferten (mit nur einem unklaren Befund in einer Studie). Bei der einzigen beobachteten Wirkung in der Studie zur Untersuchung von Wirkungen auf die DMBA-induzierte Ausbildung eines Brusttumors handelte es sich um einen Grenzfall. Zusätzliche Studien zur Bildung von Mikrokernen in Mäusen zeigten weder einen genotoxischen Effekt, noch einen Einfluss auf die Bildung roter Blutzellen nach ähnlicher RF-Exposition von 1, 6 und 104 Wochen.

Neben diesen Untersuchungen wurde eine Zusammenfassung der Ergebnisse anderer jüngerer Studien präsentiert, die am Fraunhofer ITEM (Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin) durchgeführt wurden, sich mit subchronischen Wirkungen, darunter Immunotoxizität, sowie Fertilität, Schwangerschaft, Entwicklungsneurotoxizität und Genotoxizität befassten und zum Teil noch andauern.

Alexander Lerchl (Jakobs Universität, Bremen) berichtete über „In-vivo-Studien mit RF-Exposition in Bremen“. Dort wurde eine Reihe von Studien zu möglichen Wirkungen von RF-EMF auf Mäuse durchgeführt. In einer Studie wurden AKR-Mäuse, die eine hohe Inzidenzrate spontaner Lymphome aufweisen, chronisch (lebenslang) gegenüber GSM-modulierten Signalen exponiert. Wie in der vorgehenden Untersuchung wurden keine schädlichen Wirkungen beobachtet. In einer Mehrgenerationenstudie wurden „normale“ männliche und weibliche Mäuse lebenslang RF-EMFs (UMTS-Typ) ausgesetzt. In den Ergebnissen zeigten sich keine schädlichen Wirkungen der Exposition auf die Fruchtbarkeit und Entwicklung der Tiere.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse dieser Studien nicht auf schädliche Wirkungen von Langzeitexposition von Mäusen gegenüber RF-EMFs (GSM oder UMTS) hin, selbst wenn die Tiere über mehrere Generationen exponiert werden.

Christian Bartsch (Medizinisch-Naturwissenschaftliches Forschungszentrum der Universität Tübingen) hielt einen Vortrag mit dem Titel „Unterschiedliche Wirkungen permanenter Exposition gegenüber einem GSM-ähnlichen Signal auf die Gesundheit und die Überlebensrate weiblicher Sprague-Dawley-Ratten in den gleichen Räumen: Mögliche zentrale Rolle des Geburtsmonats sowie des Geburtsjahrs“. Die Resultate können ein Hinweis darauf sein, dass biologische Reaktionsmuster auf RF-Signale des gleichen Typs, die unter identischen Laborbedingungen eingesetzt werden, nicht nur innerhalb gewisser Grenzen variieren (zum Beispiel abhängig vom Geburtsmonat), sondern auch diametral entgegengesetzt sein können, wird das gleiche Experiment über mehrere Jahre wiederholt.

David L. McCormick (IIT-Forschungsinstitut Chicago) berichtete über die „Verwendung experimenteller Modellsysteme zur Identifizierung möglicher

Gesundheitswirkungen der Exposition gegenüber RF-Feldern“. Nach der Diskussion des derzeitigen Verständnisses möglicher Wirkungen der Exposition gegenüber RF-Feldern auf das Krebsrisiko und andere chronische Erkrankungen im Kontext der wissenschaftlichen Ansätze, die zur Generierung solcher Daten benutzt wurden, wurde ein vielversprechendes Studienmodell skizziert, das benutzt werden soll, um noch vorhandene Wissenslücken zu schließen. Dazu gehört eine Studie zu chronischer Toxizität/Onkogenizität, in der Ratten und Mäuse (schwängere Weibchen und ihre Würfe) jeweils GSM- und CDMA-Signalen dreier Intensitäten ausgesetzt werden sollen; ihr Abschluss ist für den Herbst 2012 geplant.

Am Schluss der Sitzung stand ein Vortrag von **Wolfgang Dekant** (Institut für Toxikologie der Universität Würzburg) mit dem Titel „Studien zur Vorhersagbarkeit von Karzinogenizität in Tieren bezogen auf menschliche Krebsrisiken“. Er beschrieb den Prozess der Risikoabschätzung von Chemikalien und unterstrich, dass dieses Verfahren für den Bereich EMF generell tauglich ist. Was Chemikalien betrifft, wurde auch gezeigt, dass alle von der IARC identifizierten menschlichen Karzinogene die Induktion bösartiger Tumore in geeigneten Tierstudien verursachen, was unterstreicht, dass Tierstudien im Hinblick auf Karzinogenizität Krebserkrankungen des Menschen sehr gut vorhersagen können. Benutzt man die den Leitlinien entsprechenden relevanten Protokolle, können Tierstudien zu Karzinogenizität sogar als die gesundheitlichen Risiken überschätzend eingestuft werden, da das experimentelle Design mit spezifischen Bedingungen der Exposition (hohe Dosierung, lebenslange Anwendung) konservativ ist.

Ein Schwerpunkt der allgemeinen Diskussion dieses Workshops war die Verwendung des Begriffs „**Langzeitstudien**“. Es wurde vorgeschlagen, stattdessen lieber den Begriff „**lebenslange Exposition**“ zu benutzen, da dieser Terminus genauer ist. Auch ist es wichtig, sich vor Augen zu halten, dass nur Studien mit lebenslanger Exposition in der Lage sind, ein karzinogenes Potential aufzuspüren. Die Lebensdauer der normalerweise untersuchten Nagetiermodelle, Ratten und Mäuse, mag zwar, absolut gesehen, viel kürzer sein als die des Menschen, sie sind jedoch trotzdem gültige Modelle, da zum Beispiel Reparaturmechanismen wichtiger sind als die bestehenden Unterschiede. Der derzeitige Gebrauch des Begriffs „Langzeitstudien“ ist ungenau, da er viele Typen von Studien umfasst, die sich zum Teil mit völlig verschiedenen Endpunkten befassen. So wären zum Beispiel Mehrgenerationenstudien sicherlich Langzeitstudien, doch sind sie darauf ausgerichtet, in der Hauptsache schädliche Wirkungen auf Fruchtbarkeit und Endpunkte der Entwicklung zu bestimmen. Allerdings werden Tiere in Studien dieses Typs niemals ein Alter erreichen, das eine ausreichend sichere Bestimmung karzinogener Wirkungen zulässt. An dieser Situation ändert sich auch nichts, wenn mehr als nur zwei Generationen (der Normalfall in der Untersuchung von Chemikalien) zum Studiendesign hinzugefügt werden.

Im weiteren Verlauf der Diskussion einigte man sich darauf, dass zur sicheren Verwendung experimenteller Daten zur Identifizierung menschlicher Gesundheitsrisiken sowohl die Generierung relevanter experimenteller Daten für die untersuchten Erkrankungsprozesse als auch eine objektive Analyse der Stärken und Begrenzungen des Modellsystems, in dem diese Daten generiert wurden, erforderlich sind. Wichtige Themen von Überlegungen in dieser

Auswertung sind:

- die Relevanz der Biologie der Krankheit im experimentellen Modell für die menschliche Erkrankung
- die Relevanz der in der experimentellen Studie benutzten Expositionsmetrik für Expositionen des Menschen
- die Empfindlichkeit des experimentellen Modells hinsichtlich der Krankheitsinduktion
- die Größenordnung und statistische Signifikanz von im Modellsystem beobachteten Wirkungen
- die Höhe des Vertrauens darauf, dass menschliche Reaktionen vom experimentellen Modell richtig vorhergesagt werden können.

Die überwiegend negativen Resultate der vorgestellten Studien stimmen mit der breiten Mehrheit epidemiologischer und anderer Tierstudien, die keine schädlichen Wirkungen von RF-EMF-Exposition identifizieren konnten, überein.

Doch für eine solide Interpretation der Studien sind einige grundlegende Informationen dringend erforderlich. Dazu gehört die Verfügbarkeit **guter dosimetrischer Modelle** sowohl von Tieren im Experiment als auch von Menschen. Verschiedene (frühe) Entwicklungsstadien sind besonders wichtig für eine wissenschafts-basiertere Extrapolation von Tierdaten auf die Situation des Menschen.

Als wichtig gilt ebenso, so viele relevante Informationen wie möglich zur Charakterisierung der „worst case“-Expositionsszenarien des Menschen zu sammeln, sowohl was die Basisstationen als auch die Nutzung von Mobiltelefonen betrifft, um die Extrapolation der Ergebnisse zu verbessern.

Auf der Grundlage des benutzten Ansatzes zur Untersuchung und Registrierung von Chemikalien, Pestiziden und Pharmazeutika wurde versucht, das Verfahren zu modifizieren und bei der Abschätzung der Sicherheit von EMF anzuwenden.

Da das Fehlen eines Risikos aus theoretischen Gründen nicht bewiesen werden kann, bestünde ein pragmatischer Ansatz darin, sich auf ein „akzeptables Risiko“ zu einigen, das heißt zuvor müsste eine Anzahl erforderlicher (gültiger) Studien definiert werden. Auf der Basis der Ergebnisse dieser Studien (und ohne dabei die Szenarien menschlicher Exposition aus dem Blick zu verlieren) kann eine umfassende Risikoabschätzung vorgenommen und können geeignete Sicherheitsfaktoren bestimmt werden. Zeigt das gesamte Spektrum der Studien keine schädlichen Wirkungen auf, dann weist dies wiederum (auf der Basis der mit Chemikalien und Pharmazeutika gemachten Erfahrungen) auf die (relative) Sicherheit der Exposition hin. Als Ergebnis können jene Umstände definiert werden, unter denen die Situation beim Menschen als sicher betrachtet werden kann.

Wird solch ein Ansatz verwendet, sollte man das Folgende nicht aus dem Blick verlieren:

Führt man Tierstudien zu möglichen schädlichen Wirkungen von EMF durch, werden biologische Systeme zusätzlich mit Energie belastet. In der Folge führt dies zu thermischen Reaktionen in Tieren, und einen wahrhaft „athermischen“ Bereich gibt es nicht. Auch wenn also der Ursprung einer beobachteten Wirkung thermisch ist, ist sie dennoch relevant für die Risikoabschätzung, wenn ihr Vorkommen im Menschen nicht ausgeschlossen werden kann. Das bedeutet: die Unterscheidung

zwischen thermischen und athermischen Wirkungen ist zwar aus akademischer Perspektive hoch interessant, man muss sich ihr jedoch aus einer pragmatischen Betrachtungsweise nähern, was Tests und Risikoabschätzung betrifft.

Auf der Basis dieser Überlegungen sollte es möglich sein, eine wissenschaftsbasierte Risikoabschätzung der Exposition gegenüber EMF vorzunehmen, analog derjenigen, die sich in der Registrierung von Chemikalien und Pharmazeutika bewährt hat.

IN VITRO EXPERIMENTE UND RF

Vorsitz & Rapporteur: Kenneth R. Foster

Matthias Gaestel (Institut für Biochemie, Medizinische Hochschule Hannover) präsentierte eine Analyse der „Beobachtung der Wirkungen der Strahlung von Mobiltelefonen durch zelluläre Stressantwort und übergreifender Genexpressionsanalyse - Neuere Ansätze und Herausforderungen“. Er untersuchte Studien zu Wirkungen von RF-Feldern auf die zelluläre Stressantwort und die Genexpression. Hier stellte er fest, dass viele Studien, in denen Wirkungen der Exposition gegenüber RF-Energie auf die Hitzeschockproteine berichtet wurden, eine Vielzahl technischer Probleme aufweisen und daher „inhärent problematisch“ seien. Allerdings wies er auch darauf hin, dass Hitzeschockproteine sowohl dazu benutzt werden können, thermische Wirkungen von RF-EMF auf biologische Proben zu bestimmen als auch auszuschließen. Er schlug vor, künftige Studien sollten nach nichtthermischen biologischen Wirkungen von RF-EMF suchen und dabei „omics“-Technologien verwenden (genomics, proteomics).

Allerdings, so hielt er fest, neigten „omics“-Studien dazu, falsch positive Befunde zu erzeugen [aufgrund der vielen verschiedenen Endpunkte, die typischerweise in solchen Studien verglichen werden], und müssten daher von unabhängiger Seite verifiziert werden.

Rony Seger (Weizmann Institute of Science, Israel) präsentierte einen Vortrag mit dem Titel „Mechanismus kurzzeitiger ERK-Aktivierung durch elektromagnetische Felder der Mobiltelefonfrequenzen“. Er berichtete von der Studie seiner Gruppe zur Wirkung von RF-Bestrahlung auf MAPK-Kaskaden (MAPK = mitogen-aktivierte Proteinkinase) in Ratte-1- und HeLa-Zellen unter Serumangel-Bedingungen. In der Studie wurden Zellen RF-Energie ausgesetzt (875 MHz, einfallendes Feld mit einer Intensität von 0,1 bis 0,3 mW/cm²). Die Expositionen führten zur Aktivierung von ERK (durch ein extrazelluläres Signal regulierte Kinase) MAPKs, allerdings nicht von stressaktivierten MAPKs. Diese Wirkung begriff er als nichtthermisch, sie „demonstriert einen genauen molekularen Mechanismus, durch den die elektromagnetische Strahlung von Mobiltelefonen die Aktivierung der ERK-Kaskade und dadurch Transskription und andere zelluläre Prozesse induziert“.

In der seiner Präsentation folgenden ausgedehnten Diskussion erkundigten sich mehrere Anwesende im Publikum nach der Expositionsabschätzung in der Studie. Die Exposition wurde erzeugt, indem die Proben im Nahfeld der Antenne einer Mobilfunk-Basisstation platziert wurden, die wiederum in einem Inkubator lokalisiert war, ohne dass eine Berechnung oder Messung der SAR vorgenommen wurde. Andere Anwesende erkundigten sich nach der Temperaturkontrolle in der

IN VITRO EXPERIMENTE UND RF

Probe und wiesen auf die Schwierigkeit hin, in einem Inkubator eine spezifische Temperatur aufrechtzuerhalten, wenn dort eine Wärmequelle betrieben wird, sowie nach der möglichen biologischen Signifikanz der Resultate. In der Beantwortung der Fragen stellte Dr. Seger fest, dass die Expositionskammer von einem qualifizierten Berater entwickelt worden war, und bestätigte, dass die gesundheitliche Signifikanz seiner Resultate bis jetzt noch unklar sei.

In seinem Vortrag „Thermische und nichtthermische Wirkungen von Kurzwellenstrahlung in Einzelzellanwendungen“ beschrieb **Magnus S. Jäger** (Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik, Potsdam) die Arbeit seiner Gruppe zur Zellmanipulation durch relative intensive RF-Felder. Diese Arbeit reicht weit in die Biotechnologie hinein, da individuelle Zellen in kleinen Strukturen manipuliert werden; doch behauptete Jäger nicht, dass sie besonders relevant für biologische Wirkungen von RF-Energie auf den Menschen bei gewöhnlichen Expositionsstärken sei.

Jan Gimsa (Universität Rostock) bot einen Überblick über elementare biophysische Modelle zur Untersuchung der Polarisierung und des Einwirkens mechanischer Kräfte auf Zellen in externen elektrischen Feldern, was - typischerweise bei Exposition gegenüber hohen Feldstärken (mehrere zehn Volt pro mm) bei Frequenzen im MHz-Bereich und darunter - zu einer Vielzahl unterschiedlicher, leicht messbarer mechanischer Zellantworten führt. Er stellte fest, die klassischen Modelle für derlei Wirkungen gingen davon aus, dass die Zellmembranen elektrisch homogen seien. Zu welchen Wirkungen könnte es kommen, so fragte er sich, wäre die Membran in ihren elektrischen Eigenschaften stark anisotrop, mit unterschiedlicher Durchlässigkeit und Leitfähigkeit in Richtungen parallel oder senkrecht zur Membranoberfläche? Wie er zeigte, können starke Anisotropien, die einer Variation von 7 Größenordnungen in der Membranleitfähigkeit und einer Variation von 3 Größenordnungen in der Dielektrizitätskonstante in Richtungen senkrecht und parallel zur Zelloberfläche entsprechen, zu großen Veränderungen in den induzierten Dipolmomenten der Zellen bei MHz-Frequenzen führen. Seine Schlussfolgerung war, dass Wirkungen der Anisotropie auf der Ebene der Zellmembran wahrscheinlich existieren, sich jedoch in den Relaxationseigenschaften der Zellen verbergen, und dass „verborgene anisotrope Dispersionen“ in Zellmembranen zu Irrtümern in der Interpretation der Daten führen können. Überdies, so stellte er fest, könne der Verlust elektrischer Energie in verschiedenen Schichten der Zellmembran bis zu zehnmal höher sein als in der Membran insgesamt.

In seinem Vortrag zum Thema „Mikrowellenabsorption in Emulsionen mit wässrigen Mikro- und Nano-Tröpfchen“, beschrieb **Markus Antonietti** (Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam) dielektrische Studien, die seine Gruppe in Öl-in-Wasser-(O/W) und Wasser-in-Öl-(W/O)Emulsionen durchführte. Er berichtete über eine Reihe dielektrischer Studien zu W/O-Emulsionen (Mikro-großen Tröpfchen von 0,25-4M NaCl oder anderen Elektrolyten, die in einem nichtleitenden Medium von niedriger Dielektrizitätskonstante wie Öl suspendiert waren). Die Suspensionen weisen eine dipolare Dispersion im niedrigen GHz-Frequenzbereich auf, noch unter der Hauptdispersionsfrequenz (20 GHz) für reines Wasser. Dementsprechend war die Verlustdichte des suspendierten Wassers 200 Mal höher als die des Bulk-Wassers bei 2 GHz-Frequenzen. Er schloss, es

handle sich um eine mit der hohen ionischen Polarisierung an Schnittstellen der suspendierten Tröpfchen verbundene physikalische Wirkung, mit einer Verlagerung in der dipolaren Dispersionsfrequenz des suspendierten Wassers im Vergleich zum Bulk-Wasser.

Antonietti meint, dass die Wirkung nützlich für die Verarbeitung von Nahrungsmitteln mit Hilfe von Mikrowellen sein könne.

Gesamtdiskussion

Auf die Sitzungen mit Vorträgen geladener Referenten folgte eine ausgedehnte Gesamtdiskussion. Eröffnet wurde die Diskussion von Gerd Friedrich, Leiter der FGF, der an das Publikum die Frage richtete: „Was sind die offenen Fragen - wo können wir Empfehlungen geben, Beiträge [zur Klärung des Themas] leisten?“ Leiter der Diskussion war **Bernard Veyret** (Universität Bordeaux).

In der breiten Diskussion verließen Anwesende im Publikum einer Reihe verschiedener Standpunkte Ausdruck. Allgemeines Einverständnis schien bezüglich der Ansicht zu bestehen, dass weitere Forschung in den folgenden Themenfeldern erforderlich sei:

- Verbesserung der Expositionsabschätzung/dosimetrie zur Unterstützung epidemiologischer Studien,
- potenzielle Wirkungen von Langzeitexposition auf Menschen und
- Wirkungen auf potenziell empfindliche Subpopulationen wie Kinder und schwangere Frauen.


Mehrere Redner lenkten die Aufmerksamkeit auf den in ihren Augen bestehenden Forschungsbedarf. Ein Teilnehmer sprach die Notwendigkeit von mikrodosimetrischen Studien an (insbesondere zur Bestimmung von SAR-Werten in bestimmten Hirnregionen nach der Nutzung von Mobiltelefonen und die Kommunikation der entsprechenden Informationen in der Öffentlichkeit). Ein weiterer Teilnehmer sprach von der Notwendigkeit, die von Rony Seger berichteten In-vitro-Resultate zu ERKs zu bestätigen, dabei jedoch verbesserte und besser charakterisierte RF-Expositionssysteme zu benutzen. Von einem anderen Redner kam noch der Hinweis auf die Notwendigkeit, Systeme mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber geringen Temperaturänderungen zu identifizieren.

Es kam zu einer ausgedehnten Diskussion über den Vorschlag, der in einem Bericht des U.S. National Research Council geäußert worden war: neuronale Netzwerke als ein Testmodell für mögliche Bioeffekte von RF-Energie zu benutzen. Ein Anwesender verließ seiner Skepsis gegenüber dieser Idee Ausdruck, und zwar mit der Begründung, es werde sich um explorative Forschung („einen Anglerausflug“) handeln, die nicht auf einer klaren Hypothese beruhe. Da diese fehle, würden die Studien nicht klar definierte biophysische Fragen behandeln, und zugleich könnten sie auch nicht im Hinblick auf eine mögliche gesundheitliche Signifikanz interpretiert werden.

Andere Anwesende im Publikum drückten jedoch die Ansicht aus, dass eine gute Idee hinter dem Vorschlag stehe, die zu verfolgen sich lohne.

Eine kurze Diskussion fand zu der Frage statt: sind Kinder empfindlicher gegenüber Wirkungen von RF-Energie als Erwachsene? Ein Anwesender sagte, man könne keine allgemeine Aussage über die altersabhängige Empfindlichkeit gegenüber toxischen Substanzen machen: Kinder könnten, je nach der Substanz,

Gesamtdiskussion



empfindlicher oder weniger empfindlich für toxische Substanzen sein als Erwachsene. Als Vorsichtsmaßnahme schlug er jedoch vor, man solle bis zum Beweis des Gegenteils davon ausgehen, dass Kinder empfindlicher gegenüber den Wirkungen von RF-Energie seien. Veyret verwies auf ein Statement der ICNIRP von 2008, in dem es heißt, dass es nicht genügend Beweise für eine solide Schlussfolgerung zur relativen Empfindlichkeit Neugeborener oder Jugendlicher gegenüber RF-Energie im Vergleich zu Erwachsenen gebe, und unterstrich noch einmal die Schwierigkeiten, die es mit sich bringe, Forschung mit Kindern als Forschungsgegenstand durchzuführen.

Einer der Berichterstatter (Foster) verließ die Konferenz in dem Gefühl, die auf der Konferenz diskutierten wissenschaftlichen Resultate hätten keine nützlichen Anregungen zur Planung weiterer experimenteller Forschung zu möglichen Gesundheitsrisiken von RF-Exposition niedriger Intensität (unter den Grenzwerten der ICNIRP) ergeben. Während die Teilnehmer der Konferenz eine Vielzahl von Forschungslücken diskutierten, stützten sie sich zumeist auf Feststellungen darüber, was wir nicht wissen (z. B. über mögliche Langzeitwirkungen in Erwachsenen oder Kindern von Langzeitexposition gegenüber RF-Energie der Drahtloskommunikation), anstatt darauf, dass es notwendig sei, weiter zu speziellen Befunden zu forschen, die während der Konferenz diskutiert wurden.