

Cancun 11.-15. Juni 2006

28. Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society (BEMS) Bericht

Im vorliegenden Bericht werden schwerpunktmäßig – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – die besonders erwähnenswerten Ergebnisse aus dem Bereich der hochfrequenten, biologischen Forschung herausgehoben und thematisch geordnet zusammengefasst.

Bereits in einem der Tagung vorangestellten Workshop der US Air Force wurden die Ergebnisse von vier Wiederholungsstudien präsentiert, in denen die im Jahr 2003 publizierten Resultate der schwedischen Forschergruppe um **Leif Salford** unabhängig nachvollzogen werden sollten. In allen vier Studien, vorgestellt von **Florence Poulletier de Gannes** (Frankreich), **Akira Ushiyama** (Japan), **Jill McQuade** (USA) und **Hiroshi Masuda** (Japan), wurde weder die von Salford gefundene erhöhte Durchlässigkeit der BHS nach Exposition von Versuchstieren in Mobilfunkfeldern bestätigt, noch konnte der als pathologisch angesehene Befund einer erhöhten Anzahl sogenannter „Dark Neurons“ reproduziert werden. Die französische Studie wurde im Labor von **Bernard Veyret** im Rahmen des „Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF)“ durchgeführt.

Bei der Haupttagung wurden von der genannten schwedischen Forschergruppe Ergebnisse einer Erweiterung der eigenen Studie gezeigt. Hierbei konnten nach einer verlängerten Expositionszeit und zusätzlich durchgeführten Verhaltenstests die älteren Ergebnisse nicht bestätigt werden. Der Widerspruch wurde mit der Annahme erklärt, dass das Gehirn sich nach wiederholten Expositionen möglicherweise an die Bedingungen anpasst. Insgesamt betrachtet stellen sich demnach die früheren Befunde von **Salford** und Kollegen als Einzelergebnis ohne interne oder externe Bestätigung dar, denen im Hinblick auf die Bewertung gesundheitlicher Risiken des Mobilfunks kaum noch ein Stellenwert eingeräumt werden kann.

Die Resultate einer Schweizer Wiederholungsstudie zu der 2003 veröffentlichten, aber nie wissenschaftlich publizierten, niederländischen TNO-Studie an elektrosensiblen und nicht elektrosensiblen Versuchspersonen wurden von **Peter Achermann**, Universität Zürich, präsentiert. Die Ergebnisse, die bereits eine Woche zuvor publiziert worden waren, erbrachten laut Achermanns Erklärungen keine Bestätigung der ursprünglichen TNO-Studie. Bei dieser TNO-Studie waren, allerdings mit statistischen Unsicherheiten behaftet, negative Einflüsse von UMTS-Feldern auf das Wohlbefinden festgestellt worden sowie unter UMTS- und GSM-Feldeinfluss in einigen Fällen eine leichte Verbesserung bei kognitiven Tests (z. B. Erinnerungs- und Reaktionsvermögen).

Achermann berichtete außerdem von EEG-Untersuchungen und Gehirnleistungstests an Probanden im Schlaflabor unter dem Einfluss von 900 MHz GSM-Handgeräte-



Dr.-Ing. Gerd Friedrich,
Dr. rer. nat. Frank Gollnick,
FGF,
Dipl.-Biophys. Lutz Haberland,
Universität Rostock

Blut-Hirn-Schranke
(BHS)

EEG, Gehirnleistung
und Verhalten

Testsignalen (0,5 und 2 W/kg Kopfexposition vor dem Schlaf). In Fortführung früherer Untersuchungen, die sich auch bereits mit Schlafstadienanalyse, Schlafqualität und kognitiver Leistung beschäftigten, fand seine Forschergruppe diesmal einen dosisabhängigen Anstieg der mit dem EEG gemessenen, sogenannten „Schlafspindel-Leistungsspektren“ zwischen 12 und 14 Hz während der Nicht-REM-Schlafphase im Schlafstadium 2 (was soviel wie einen tieferen, also besseren Schlaf in diesem Stadium bedeutet). Die Gehirnleistungstests, die während der 30-minütigen Kopfexposition durchgeführt wurden, ergaben unter Feldeinfluss eine leicht erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit beim Auswahl-Reaktionstest, wobei die Genauigkeit bei der Auswahl jedoch unbeeinflusst blieb. Ungeklärt an dieser Forschungslinie in Achermanns Labor bleibt die Tatsache, dass in früheren Untersuchungen mit Basisstations-Testsignalen ein umgekehrter Effekt – ein Abfall in den gleichen gemessenen Schlafleistungsspektren – eintrat. In Bezug auf eventuelle gesundheitliche Beeinträchtigungen können laut Achermann keinerlei Schlüsse aus seinen Untersuchungen gezogen werden.

Die Befunde wurden untermauert durch eine Präsentation von **Sarah Loughran**, Swinburne University, Hawthorn (Australien), aus der Forschergruppe um **Andrew Wood**, wo mit vergleichbarer Methodik bei 50 Testpersonen in der ersten Nicht-REM-Schlafphase im Frequenzband von 11,5 bis 12,25 Hz ebenfalls erhöhte Leistungsspektren gemessen wurden.

René de Seze, INERIS/DRC (Frankreich), stellte in Untersuchungen an Ratten keine Summationseffekte einer sub-chronischen, wiederholten 900 MHz GSM-Feldexposition (45 bis 120 Minuten) auf die **Hirnstruktur**, die **Hirnaktivität** und auf das **Verhalten** fest. Dabei wurden unter anderem Dopamin-Transportproteine und Krebsmarker in Betracht gezogen sowie standardisierte Verhaltenstests ausgeführt.

Aksel Straume aus der Forschergruppe von **Gunnhild Oftedal**, University College Trondheim (Norwegen), zeigte Ergebnisse einer doppelblind durchgeführten Provokationsstudie an Probanden, welche die Untersuchung von Schmerz und Unwohlsein aufgrund von Mobilfunkfeldern zum Ziel hatte. Es ergaben sich keine klaren Bezüge zwischen den angegebenen Symptomen und den gerade vorhandenen Feldbedingungen (an oder aus), zum Teil wurden bei Scheinexposition mehr Beschwerden angegeben als bei Feldexposition. Straume zog aus der Studie den Schluss, dass wahrscheinlich schon die Erwartung einer Exposition im Feld die entscheidende Rolle bei der Beurteilung des subjektiven Befindens spielt.

In einer Posterpräsentation wurden von **Franz Adlkofer**, Stiftung VERUM, dem Koordinator des beendeten europäischen Verbundprojekts REFLEX, neue Ergebnisse der Forschergruppe aus Wien gezeigt, die eine Erweiterung ihrer umstrittenen Befunde zu genetischen Schäden in Zellkulturen darstellen. Nach den früher berichteten Chromosomen-Strangbrüchen durch Einwirkung von 900 und 1800 MHz GSM-Feldern in bestimmten Zelltypen wurde jetzt der gleiche Effekt auch mit 1950 MHz UMTS-Signalen (SAR = 0,05 bis 2 W/kg) in dosisabhängiger Weise beobachtet, allerdings bislang nur in drei Proben je Expositionsstufe. In Gesprächen räumte Adlkofer ein, dass diese Resultate mit einem gleichartigen Versuchsaufbau an der Universität Ulm nicht bestätigt werden konnten, und dass unter anderem wegen der Beschränkung der Effekte auf bestimmte Zelltypen keine allgemeine gesundheitliche Relevanz abgeleitet werden könne.

Von der israelischen Forschergruppe um **Rafi Korenstein**, Universität Tel Aviv, wurden bei relativ hohen SAR-Werten (5,3 und 7,4 W/kg) mit unmodulierten 800 MHz-Feldern in Kulturen weißer Blutkörperchen erhöhte Aneuploidie-Raten (abweichende Chromosomenanzahl) bei einer Expositionszeit von 24 und 72 Stunden beobachtet. Untersuchungen mit modulierten Feldern sind in Planung.

Genetische Schäden,
REFLEX-Forschungs-
verbund

Neben dem Hinweis von **Dariusz Leszczynski** auf den im September 2006 erscheinenden Sonderband der Fachzeitschrift „Proteomics“ mit den Ergebnissen des – von der FGF mitveranstalteten – HSP-Workshops 2005 in Helsinki war eine Präsentation mit Ergebnissen aus dem „Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm“ bemerkenswert: **Muriel Laclau** aus der Forschergruppe um **Bernard Veyret**, PIOM Labor (Frankreich), berichtete von einer Aktivierung der HSP 25 und 70 durch subchronisch eingesetzte GSM-1800- und UMTS-Felder (2 W/kg, 2 Stunden/Tag über 4 Wochen) in jungen erwachsenen und in älteren Ratten. Diese Aktivierung ging mit einer verstärkten Bildung von Mikroglia (Makrophagen, „Fresszellen“ des körpereigenen Abwehrsystems im Bereich des Nervengewebes) im Hirnrindengewebe der Ratten einher.

Neben den bereits genannten Studien bezogen sich nur relativ wenige Beiträge auf das „**Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF)**“:

- **Gunde Ziegelberger**, Bundesamt für Strahlenschutz, Oberschleißheim, mit einer Übersicht über die DMF-Forschungsschwerpunkte,
- **Helmut Franke**, Universität Münster, mit vorläufigen technischen Aspekten einer laufenden Studie zur Genexpression in einem *in vitro* Zellmodell der Blut-Hirn-Schranke (GSM-1800- und UMTS-Exposition bei SAR = 0,4 – 8 W/kg geplant),
- **Joachim Schüz**, Danish Cancer Society, Kopenhagen, über die bereits publizierten Ergebnisse des deutschen Anteils an der INTERPHONE-Studie (hier Fall-Kontroll-Studie zum Hirntumorrisiko im Zusammenhang mit der Benutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen nach dem DECT-Standard),
- **Gernot Schmid**, ARC Seibersdorf Research GmbH (Österreich), mit ersten Ergebnissen einer genauen dosimetrischen Modellierung des menschlichen Innenohrs für den Frequenzbereich 900 MHz bis 10 GHz,
- die Forschergruppe um **Volkert Hansen**, Universität Wuppertal, mit der Darstellung von Expositionseinrichtungen und dosimetrischen Berechnungen für verschiedene DMF-Projekte sowie
- die Arbeitsgruppe von **Alexander Lerchl**, International University Bremen, mit Resultaten einer Langzeitstudie an Mäusen, die genetisch bedingt besonders anfällig für maligne Lymphome (Lymphumore) sind. Die letztgenannte, bereits abgeschlossene Untersuchung ergab unter Anwendung eines UMTS-Testsignals (Ganzkörper-SAR-Wert 0,4 W/kg, 24 Stunden/Tag) keine Steigerung der Anzahl böswilliger Tumore gegenüber der Kontrollgruppe.

Aus der internationalen Bevölkerungsstudie INTERPHONE gab es neben dem genannten Bericht weitere erste Ergebnisberichte methodischer Art von Joachim **Schüz** (siehe oben) über den dänischen Teil des Verbundprojekts (hier eine Fall-Kontroll-Studie und eine retrospektive Kohortenstudie unter Mobiltelefon-Teilnehmern der Jahre 1982 – 1995) sowie von **Kanako Wake** und Kollegen, National Institute Information Communication Technology, Tokyo, über Kopf-SAR-Modellierungen zur Erfassung der Expositionstärke in der geplanten japanischen Bevölkerungsstudie.

Für das laufende englische **MTHR-Forschungsprogramm** („Mobile Telecommunication and Health Research“) wurde ein interessanter Forschungsbericht zu Blutdruckänderungen unter der Einwirkung von Signalen, wie sie von GSM- oder TETRA-Handgeräten ausgehen, präsentiert. Mit Blick auf frühere ähnliche Arbeiten mit widersprüchlichen Ergebnissen (Braune et al., 1998 und 2002; Tahvanainen et al., 2004), fand man in der MTHR-Studie keine Einflüsse der Felder auf den Blutdruck und davon abhängige physiologische Parameter von Testpersonen. Somit könne die ursprüngliche Studie von Braune et al. (1998) als widerlegt gelten, betonte **Anthony Barker**, Royal Hallamshire Hospital, Sheffield (Großbritannien), der das MTHR-Studienergebnis vorstellte.

Eine Sitzung der Konferenz (also acht Vorträge in zwei Stunden) war dem Thema „Mechanismen & Analysen“ gewidmet – allerdings suchte man dort Präsentationen zu Wirkungsmechanismen elektromagnetischer Felder fast vergebens. Stattdessen gab es hauptsächlich Berichte zu neuen theoretischen und experimentellen Methoden der Feldmessung im biologischen Gewebe und sogar die Zusammenfassung einer Freiwilligenstudie zu „Schmerz und Unwohlsein bei der Nutzung von Mobiltelefonen“. Die Suche nach Mechanismusstudien war aber nicht ganz umsonst – leider versteckten sie sich aber in den verschiedensten Sitzungen dieser Konferenz.

Die meisten dieser Untersuchungen befassten sich mit Modellierungen der Feldwirkungen, d. h. mit Berechnungen der Feldverteilung im biologischen System. Ziel ist es, ein besseres Verständnis für die Wirkung hochfrequenter Felder vom gesamten Organismus bis zum subzellulären Bereich zu erhalten.

Die Arbeitsgruppe von **Guglielmo d'Inzeo** von der Universität Rom, Italien, stellte in mehreren Vorträgen die Zwischenergebnisse ihrer Untersuchungen vor, die zum Teil im europäischen Ramp-2001-Projekt bearbeitet wurden. **Matteo Gianni** stellte ein Kationen-Kanal-Modell vor, das das Verhalten von Kalzium- und Kaliumkanälen in der Zellmembran von Neuronen beschreibt. Unter Einfluss eines äußeren 50 Hz-Feldes beobachtete er damit einen leicht veränderten Kalziumstrom über die Membran. Eine experimentelle Bestätigung dieses theoretischen Modells soll in naher Zukunft folgen. Den Einfluss niederfrequenter Felder (ELF, bis 100 Hz) untersuchte auch **Alessandra Paffi**, allerdings modellierte sie das Verhalten ganzer neuronaler Zellen (Dendriten und Axone). Ihrem Modell zufolge ist die „Feuerrate“ der Nervenzelle abhängig von der Frequenz eines äußeren elektrischen Feldes, mit maximalen Empfindlichkeiten bei 10 Hz und zwischen 80 und 300 Hz – eine Neuauflage des Frequenz-Fenster-Effektes. Nächste Schritte sollen die Vervollständigung des Modells durch Hinzufügen von endogenem Rauschen und voraussichtlich experimentelle Bestätigungen sein. **Caterina Merla** verglich die elektrische Feldverteilung in der Zellmembran von circa 10 Hz bis in den GHz-Bereich in Abhängigkeit von Zellgröße und angewandtem dielektrischen Modell. Während die Feldverteilung im Niederfrequenzbereich hauptsächlich von der Zellgröße abhängt, ist die Verteilung bei höheren Frequenzen (>10 MHz) dagegen eine Funktion des dielektrischen Modells. Dies bedeutet, dass sich die vorhandenen Modelle noch zu sehr unterscheiden, um einen Vergleich anstellen zu können, und man mehr auf die komplexen geometrischen Strukturen innerhalb der Zelle Rücksicht nehmen muss – ein Plädoyer für sorgfältige „Mikrodosimetrie“.

James Weaver, MIT, Cambridge, USA, stellte in Vertretung des angekündigten Axel Esser seine Version des „*in silico* bioelectromagnetics“ vor, der Integration makro- und mikrodosimetrischer Modelle. Die Fortschritte gegenüber den vergangenen Jahren wurden leider nicht ersichtlich, da der Vortrag auf spezielle Anwendungen der Elektroporation fokussierte, wie sie schon am Vortag in einem speziellen Symposium präsentiert worden waren (siehe weiter unten).

Andreas Christ aus der Schweizer Gruppe von Nils Kuster, Itis, Zürich, stellte ein verbessertes Modell der Hochfrequenz-induzierten Temperaturverteilung im Körper unter Berücksichtigung des Blutflusses vor. Damit ist eine detailliertere Therapieplanung für Hyperthermiebehandlungen möglich, gleichzeitig verbessert sich das Verständnis über die allgemeinen thermischen Wirkungen im Gewebe. Das Modell ist aber noch nicht ausgereizt, in Planung sind die Einbeziehung von Thermoregulation und vorhandenen Nichtlinearitäten.

Thermoregulatorische Effekte in theoretische Modelle zu implementieren, war auch Thema des Vortrages von **Allen Curran** von der ThermoAnalytics, Inc. in Michigan, U.S.A. Sein Modell bezog sich auf eine Kopfexposition mit 915 MHz-Feldern, SAR = 4,8 W/kg. Bei Berücksichtigung der Thermoregulation ergab sich eine Erwärmung des Hypothalamus von lediglich 0,2 °C, ohne wären es 2,2 °C gewesen. Auch wenn natürlich auch hierfür eine experimentelle Bestätigung wünschenswert ist, wird diese mit den vorhandenen technischen Mitteln nur schwer zu bewerkstelligen sein.

Die Suche nach nichtlinearen Reaktionen biologischer Zellen auf hochfrequente elektromagnetische Felder (Stichwort: Demodulation) hält nun schon seit Jahrzehnten an – allerdings konnte bislang noch kein eindeutiger Beweis dafür gefunden werden. Ein Experiment, das für einige einen möglichen Schlusspunkt in dieser Diskussion darstellt, wurde von **Quirino Balzano**, Universität Maryland, USA, vorgestellt. Unter der Annahme, dass jede Nichtlinearität die zweite harmonische Frequenz (doppelte Frequenz) der eingestrahlten Frequenz wieder aussenden muss, wird nach eben dieser Harmonischen gesucht. Bislang wurde der Versuchsaufbau fertiggestellt, und es wurden erfolgreich Experimente mit einer elektronischen Diode durchgeführt – biologische Zellen sollen demnächst folgen. Die Experimente finden im Rahmen des britischen MTHR-Programmes bei Peter Excell an der Universität Bradford statt.

Eine interessante Veranstaltung – auch im Hinblick auf Wirkungsmechanismen – fand im Vorfeld der Konferenz statt: Das Aegis Corporation Symposium „Wissenschaftliche Probleme bei nicht-tödlichen Eingriffen (interventions)“ beschäftigte sich mit **nicht-tödlichen Waffen** und deren (Neben-)Wirkungen. Dabei konzentrierte man sich auf schon im Einsatz befindliche „Taser“ und „Stunner“, die im Gleichstrom- bzw. Niederfrequenzbereich arbeiten (circa 3 Ampere, circa 1000 Volt). Mikrowellenwaffen waren nicht Thema des Symposiums. Mögliche Langzeitwirkungen wurden ebenso kontrovers diskutiert, wie die Frage, ob solche Waffen unter bestimmten Umständen doch tödlich wirken könnten.

Die Wirkungsweise ist noch nicht vollständig verstanden. Insbesondere die Gruppe um **James Weaver**, MIT, Cambridge, USA, widmet sich diesem Thema und geht davon aus, dass kurzzeitige Elektroporationen, d. h. Membranlöcher, die durch die hohen elektrischen Feldstärken hervorgerufen werden, an der Wirkungsentstehung beteiligt sind.

Neue Modelle, wie elektromagnetische Felder in biologischen Systemen wirken können, wurden nicht vorgestellt. Wissenslücken gibt es insbesondere noch im zellulären und subzellulären Bereich. Hier laufen auch einige Projekte, die interessante Ergebnisse erwarten lassen. Ob sie die z. T. widersprüchlichen experimentellen Resultate erklären können, bleibt allerdings abzuwarten.

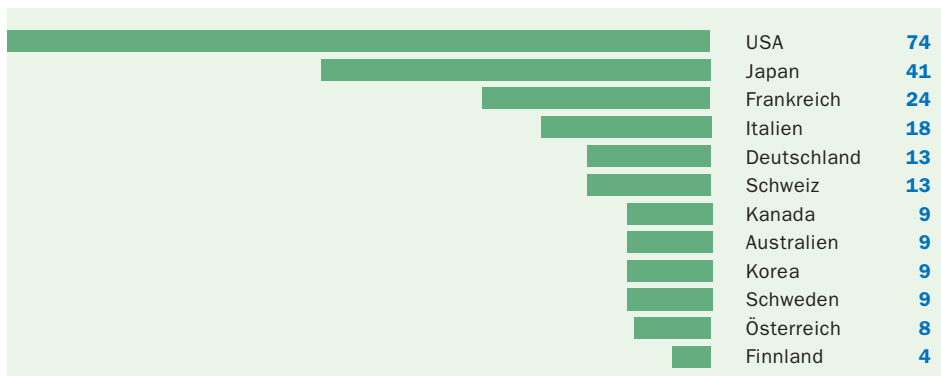
Einen ausführlichen Überblick zu derzeit diskutierten Wirkungsmechanismen gab ein von der FGF im September organisierter Workshop an der Universität Rostock. Ein Bericht dazu erscheint im nächsten Newsletter.

Zusammenfassung

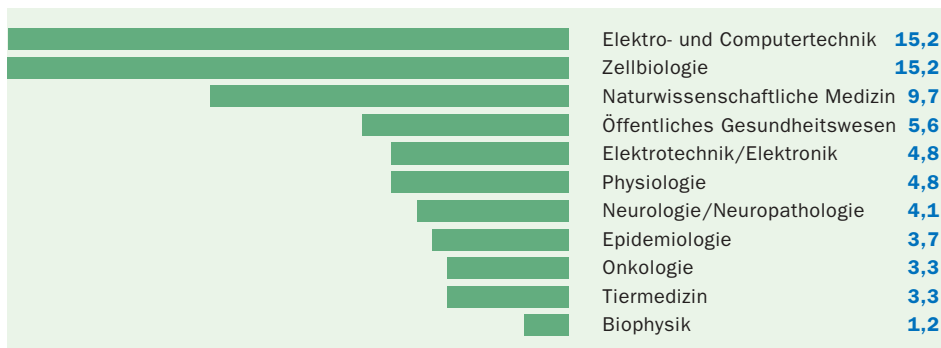
BEMS

Statistik

Auf der BEMS 2006 waren Fachleute aus 28 Ländern mit Vorträgen oder Postern (Bild Darstellungen) als Beiträgen vertreten. Vorträge wurden aus 21 verschiedenen Ländern beigesteuert, die Poster kamen aus 25 verschiedenen Ländern. Gewohnt reichhaltig war auch das diesjährige Angebot mit 121 Vorträgen und 148 Postern.



Aufstellung nach Ländern in 2006 (Anzahl der Beiträge)



Aufstellung nach Themenschwerpunkten in 2006 (Angaben in Prozent)