

Helmut Franke

BEMS Schwerpunkte:

„in vivo“, „in vitro“, Dosimetrie und medizinische Anwendungen

Die 25. Jahrestagung und damit das „silberne Jubiläum“ der Bioelectromagnetics Society fand in diesem Jahr auf der Hawaiianischen Insel Maui in Wailea statt. Die Anmeldung von insgesamt 100 Vorträgen und 215 Postern umfasste diesmal in den **Plenarvorträgen** die Themen:

- Biologische Effekte von EMF: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft;
- Epidemiologie,
- Mechanismen und
- EMF Modalitäten zur beschleunigten Heilung durch verstärkten Blutfluss und Schmerzverringering

Die Fachsitzungen befassten sich im einzelnen mit den Themen

- In vitro Untersuchungen,
- In vivo Untersuchungen,
- Mechanismen und Modellierungen,
- Dosimetrie,
- Medizinische Anwendungen,
- Risiko- und Sicherheitsstandards,
- Epidemiologie,
- Ergebnisse des REFLEX Projekts.

In dieser Zusammenfassung möchte ich die Schwerpunkte auf die in vitro und in vivo Sitzungen, das Thema Dosimetrie, Medizinische Anwendungen und die Plenarvorträge legen.

Im ersten der Plenarvorträge setzte sich **Larry Anderson (USA)** mit Forschungsergebnissen aus Tierversuchen auseinander. Diese, so betont er, bieten den Vorteil, dass experimentelle Variablen, insbesondere die Exposition, besser zu kontrollieren sind. Besonders sind in den vergangenen Jahren Fortschritte im Verständnis und der Anwendung von Tiermodellen erreicht worden. So stehen heute z.B. genetisch veränderte Tiere zur Verfügung, es gibt Möglichkeiten zur organspezifischen Bestrahlung und man kann auf besonders empfindliche Tierpopulationen zurückgreifen. Tierexperimente helfen somit spezifische, überprüfbare Hypothesen aufzustellen. Er vergleicht dabei mit epidemiologischen und klinischen Untersuchungen, die unübersichtlicher und sicherlich schwieriger zu interpretieren sind. Als großen Vorteil bezeichnet er die hohe statistische Aussagekraft moderner biologischer Methoden, betont jedoch zugleich, dass die Anzahl der Versuchstiere minimiert werden muss. Ein gewisser Widerspruch in sich, da die statistische Aussagekraft durch die sogenannte „**Power Potenz**“ einer Probe, also durch die Zahl der Experimente bestimmt wird.

Anderson berichtete auch über die Rolle von Tierversuchen bei der Fragestellung

der Krebsentstehung im Zusammenhang mit EMF. Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich heute damit, ob EMF Krebs hervorrufen oder die Entwicklung bereits vorhandener Tumore beeinflussen können. Die allgemeine Tendenz der Untersuchungen geht in die Richtung, dass bisher keine klaren Belege für die Entstehung oder Begünstigung von Tumoren durch EMF gefunden werden konnten. Gelegentlich führte die Feldexposition sogar zu einer Verminderung von Tumorwachstum.

Eine besondere Herausforderung bleibt jedoch für Anderson die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen. Dies ist vom Tier auf den Menschen zwar prinzipiell möglich, aufgrund der biologischen Differenzen allerdings nicht grundsätzlich richtig und jeweils im Einzelfall zu klären.

Der zweite **Plenarvortrag** durch **Michael Repacholi** hatte das EMF-Projekt der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zum Thema. Innerhalb dieses Projekts sind bisher zahlreiche wissenschaftliche Berichte und Zusammenfassungen, sogenannte *Reviews* gesammelt worden, die einen Überblick über Wechselwirkungen biologischer Systeme mit elektromagnetischen Feldern geben. Mit dieser Übersicht soll



Messaufbau zur Bestimmung des elektrischen Widerstands an der Blut-Hirn-Schranke

insbesondere herausgestellt werden, wo noch besondere Lücken im aktuellen Wissensstand vorhanden sind. Derartige Fragestellungen können sich beispielsweise dem Umgang von Kindern mit Mobiltelefonen widmen oder aber Folgen einer Exposition über einen längeren Lebenszeitraum hinweg hinterfragen. Anstrengungen diese Lücken zu schließen sollen helfen, Empfehlungen an die Industrie aber auch Handy-Nutzer herauszugeben, um ein Risikomanagement im Sinne eines gesundheitsbewussten Umgangs mit Mobiltelefonen zu initiieren. Die WHO empfiehlt den Aufbau eines internationalen Netzwerks, um weitere Sicherheitsrichtlinien zu entwickeln. Weiteres hierzu im Internet unter: <http://www.who.int/emf>.

Zur Eröffnung der Sitzung über *in vitro* Studien hatte ich selbst die Möglichkeit über den Fortgang unseres Forschungsprojekts zu berichten. Unsere Untersuchungen befassen sich mit Mobilfunkstrahlen, die das Signal eines UMTS-Handys nachahmen und ihrem Einfluss auf die Barrierefunktion der Blut-Hirn-Schranke (BHS). Diese Schranke stellt einen wichtigen Regelmechanismus für den Übertritt von im Blut transportierten Stoffen in das Gehirn

dar. Sie erfüllt eine außerordentlich wichtige Funktion, indem sie das Gehirn vor dem Eindringen von Giften und Stoffwechselabfällen schützt und durch die Aufrechterhaltung konstanter Ionen-Konzentrationen erst die Funktion der zahlreichen Nerven auf engstem Raum ermöglicht. Mit unserem Ansatz, hier auf Ebene der Zellkultur eine Beeinträchtigung der BHS durch die Einwirkung des UMTS-Feldes zu untersuchen, weichen wir von einer häufig gewählten Fragestellung ab. So steht nicht die Schädlichkeit der Strahlung für den Menschen im Vordergrund, sondern die Suche nach der zellulären oder molekularen Interaktion des Feldes mit dem biologischen Modell. Die Reduktion auf eine einzige, uns im Detail sehr gut bekannte Zellspezies ermöglicht eine genaue Suche nach dieser molekularen Wechselwirkung um nicht das „ob“ sondern das „wie“ einer potentiellen Schädigung zu erkennen. Wir befanden die Zellkulturen für die BHS mit spezifischen Absorptionsraten (SAR) im Bereich von 0,045 bis 4,5 W/kg über mehrere Tage. Durch die in das Expositionssystem integrierte Messapparatur zur Aufzeichnung des elektrischen Widerstandes, den die Zellen aufbauen, haben wir

hier eine Möglichkeit geschaffen, die wichtige Barrierefunktion schon während der Bestrahlung zu quantifizieren. Weiterhin werden Transporter und die die BHS abdichtenden sogen. „tight-junction“- Proteine auf Veränderungen untersucht. Ergebnisse dieser noch fortlaufenden Untersuchungen konnten bisher keine Störungen der Schrankentätigkeit unter Einwirkung des Mobilfunkfeldes aufzeigen.

Tattersall (UK) berichtete über Untersuchungen mit Feldern des im Polizeidienst eingesetzten TETRA „Funksystems“, welches bei einer Frequenz von 380,8875 MHz mit einer Modulation von 17,6 Hz arbeitet. In seiner Arbeit an Rattenmyozyten, also Zellen aus dem Herzmuskel, untersuchte er den Einfluss auf die in diesen Zellen typischen, periodischen Schwankungen der Calciumkonzentration. Zwischen scheinexponierten und exponierten (0,4 W/kg) Kulturen konnte er jedoch keinen Unterschied der Calcium Oszillation beobachten.

An eine frühere Studie von Tattersall anknüpfend untersuchte Pakhomov (San Antonio, USA) die Auswirkungen von Mikrowellen (9,6 GHz, 24 & 120 W/kg) auf 4-Aminopyridin induzierte Epilepsieausbrüche in isolierten Gewebsschnitten aus dem Hippocampus von Rattenhirnen. Im Gegensatz zu Tattersall, der im un gepulsten 700 MHz Feld schon bei Feldstärken von 50 V/m (ca. 5 mW/kg) eine Beeinflussung der epileptischen Ausbrüche beobachtet hatte, konnte die Gruppe um Pakhomov keine Veränderung der spontanen Anfälle beobachten. Lediglich hohe SAR Werte von 600 bzw. 3000 W/kg zeigten Effekte, die aber denen einer konventionellen Erwärmung gleichzusetzen waren.

Kwee (Aarhus, DK) wies in ihrem Vortrag darauf hin, dass EMF (hier: GSM 960 MHz, 2,1 mW/kg; 25 min.) Änderungen im Zellzyklus menschlicher Amnionzellen hervorrufen können. Das Zellwachstum sowie die Apoptose können beeinflusst werden. Die Zellen können jedoch in Folge wiederholter Exposition adaptieren.

Christian Maercker (Heidelberg, D) berichtete über seine Studien an menschlichen HL60-Zellen (Promyelocyten), die mit 1800 MHz entweder in einem 5 min on / 5 min off Rhythmus (1 W/kg) oder bei einer kontinuierlichen Befeldung (1,3 W/kg) für 24 h gehalten wurden. Nach Untersuchung von mehr als 75000 Genen konnte er Unterschiede in deren Expressionsmuster feststellen. Am deutlichsten waren dabei der Resultate von Genfamilien, die in die Proteinbiosynthese eine Rolle spielen. Nach dem Expositionsexperiment konnte er 48 hochregulierte und 7 herunterregulierte Gene finden. Auch wenn der Weg des Signalempfangs und dessen Demodulation, also der Umsetzung des EMF-Signals bisher unklar sind, so erklärt er, reagieren Säugerzellen offensichtlich in einer ganz bestimmten Art und Weise auf das Feld.

Sheila Johnston (London, UK) hinterfragte in ihrem Vortrag die Fragestellungen vieler Untersuchungen auf diesem Gebiet. So stellt sie nicht in Zweifel, dass in vielen Untersuchungen durchaus Reaktionen des biologischen Systems auf EMF-Exposition beobachtet werden, sie fragt aber nach der physiologischen Relevanz der beobachteten Effekte: was macht es beispielsweise aus, wenn sich Veränderungen im Calcium Ein- oder Ausfluss einer Zelle zeigen? Wofür sind die vielfach untersuchten Hitzeschockproteine (HSP) verantwortlich? Frau Johnston betonte die dringende Notwendigkeit, mehr auf das Verständnis der grundlegenden Effekte Wert zu legen, da nur so eine verantwortungsvolle Risikobewertung möglich ist.

Hook (USA) befasste sich in seinem Vortrag mit der genotoxischen Wirkung von Mikrowellen. Die von ihm gewählten Expositionsbedingungen (2450 MHz CW, 1,9 W/kg, 2h) riefen an Fibroblasten-Zellkulturen keine DNA-DNA oder DNA-Protein Querverknüpfungen hervor. Damit widersprechen seine Ergebnisse früheren in vivo Untersuchungen.

Auch **Pouletier de Gannes** (F) und Kollegen widersprachen in ihren Untersuchun-

gen zur Induktion von Hitzeschockproteinen in der Haut und im Gehirn früheren Berichten. So konnten sie in Zellkulturen (Neuronen-, Astrocyten-, Fibroblasten- und Keratinocytenkulturen) nach bis zu 48-stündiger Exposition in einem GSM-900 Feld (2 W/kg) keine verstärkte Expression der Proteine HSP 27 und HSP 70 feststellen. In Kontrollexperimenten konnte eine verstärkte HSP-Ausschüttung nach UV-Bestrahlung oder wirklichem Hitzeschock jedoch gezeigt werden. Allerdings reagierte ein Gewebsmodell für die Haut (rekonstituierte Epidermisbiopsien, also Proben der äußersten Hautschicht) mit einer leichten Erhöhung der HSP 27 und 70, ein Effekt der möglicherweise mit einer verfrühten Hautalterung zu vergleichen ist. Weitere Daten die dieses Experiment untermauern wurden in einem Poster von **Sanchez** präsentiert.

Iyama (Yokosuka, J) stellte eine Expositionseinrichtung für Zellkulturen vor, in der bis zu 49 Petrischalen gleichzeitig befeldet werden können. Dies geschieht in einer reflexionsfreien und mit Absorbiermaterial ausgekleideten Kammer mit einer Feldpräzision von $\pm 1,5$ dB. Der untersuchte Mobilfunkstandard IMT-2000 ist mit unserem UMTS-System vergleichbar. Iyama konnte in seinen Untersuchungen keine Auswirkungen des Feldes (2,1425 GHz CW, 0,08W/kg, 96h) auf die Teilungsrate einer humanen H4-neuroglioma Zelllinie (entnommen aus einem Hirntumor eines erwachsenen Mannes) beobachten. Weitere Zelllinien wurden mit diesem System untersucht wie auf dem Poster von **Sekijima** (Ibaraki, J) dargestellt. Aber auch A172 Zellen (aus einem Glioblastom, also Tumorgewebe des Hirns) IMR-90 (gesunde Fibroblasten der Lunge) und CCD25SK Kulturen (gesunde Fibroblasten der Haut) wurden weder in Wachstum noch ihrer Vitalität beeinflusst. Für diese Studien wurde neben 0,08 W/kg auch mit 0,25 W/kg bestrahlt.

Trillo (Madrid, E) stellte auf einem Poster eine Arbeit vor, die Effekte des GSM

1800 Feldes auf Zellkulturen nachweisen konnte. In Kulturen von NB69 Zellen eines Neuroblastoms waren durch Befeldung weniger Zellen zu finden, die den Wachstumsfaktor FGF sowie den dazugehörigen Rezeptor FGFR1 exprimierten. Die Exposition mit 2 mW/kg wurde über maximal 24h in einem 5 min on/ 10 min off Rhythmus durchgeführt.

Darius Leszczynski (Helsinki, SF) stellte in seinem Vortrag den Fortgang seiner Arbeiten vor, die er bereits im vergangenen Jahr in Quebec präsentiert hatte. Zu der von ihm bereits früher untersuchten Nabelschnurendothelzelllinie *EA.hy926* gesellte sich nun auch ein Subklon dieser Zellen *EA.hy926v1*. Dieser neue Subklon zeichnet sich nicht nur durch ein deutlich verlangsamtes Wachstum aus, er liefert auch andere Resultate nach einer Exposition bei 2,4 W/kg mit einem GSM 900 MHz Signal. Konnte Leszczynski in der von ihm eingesetzten Analytik im *EA.hy926* Klon 49 von insgesamt 1300 Proteinen mit signifikant veränderter Expression identifizieren, so waren es im neuen Subklon v1 schon 137. Eine Erklärung, warum ein Subklon aus der vorhandenen Zellpopulation gezüchtet wurde, blieb Leszczynski jedoch schuldig. Die Identifizierung der gegenüber unbestrahlten Zellen mehr oder weniger stark ausgeprägten Proteine bereitet allerdings Schwierigkeiten, so dass noch offen blieb, um welche Proteine es sich handelt und welche Funktion diese im Körper wahrnehmen. Hatte Leszczynski in Quebec noch mit vielfach zitierten Spekulationen Aufsehen erregt, dass diese Proteine eine Rolle bei der Krebsentstehung und einer potentiellen Schädigung der BHS spielen könnten, ging er in seinen diesjährigen Vortrag derartigen Vorhersagen völlig aus dem Wege.

Craig Laramée (J) berichtete über Experimente an Zellen aus menschlichem Brustepithel (MCF-10A Zellen) im statischen Magnetfeld. Die in einem Gel wachsenden Zellen wurden über 5 Tage Feldern von 1-



1000 G (1 Gauß entspricht 0,1 mT) ausgesetzt. Laramee beobachtete eine Änderung der Anordnung und Wachstumsrichtung in Abhängigkeit von der Feldstärke.

Mit dem Einfluss eines 50 Hz, 1mT Magnetfeldes auf Knochenmarkszellen der Maus und auf Makrophagen (ein Zelltyp des Immunsystems) befasst sich Simko (Rostock). Bei einer Expositionsdauer von 45 min bzw. 24 h beobachtet sie eine signifikante Steigerung der Produktion reaktiver Sauerstoffarten (ROS). Allerdings fällt diese Steigerung mit einem Faktor von nur 1,2 deutlich geringer aus, als die in einem Kontrollexperiment um den Faktor 45 erhöhte ROS-Produktion.

Die Plenarvorträge des zweiten Tages widmeten sich **epidemiologischen Untersuchungen**. Im Vortrag von Maria Feychting (Stockholm, S) wurde deutlich, mit welchen besonderen Schwierigkeiten die Epidemiologie behaftet sein kann. Bei der Auswertung ist auf den korrekten Umgang mit einer Vielzahl von Parametern in der Datenerfassung und -evaluation zu achten. So führen verschiedene Auswertungen derselben Daten mitunter zu gegensätzlichen Ergebnissen. Probleme treten vor allem dann auf, wenn sich Untersuchungen auf Befragungen der Bevölkerung stützen und sich die Befragten nicht immer im Detail an alle Einzelheiten ihrer Nutzung von Mobiltelefonen erinnern können. Nicht selten wird die Nutzungsdauer falsch eingeschätzt, ein früher benutztes Telefonmodell verwechselt oder eine bevorzugte Haltung des Telefons während des Gebrauchs nicht korrekt wiedergegeben. Letzteres spielt aber beispielsweise bei der Analyse der Entstehung von Tumoren eine nicht unwesentliche Rolle.

In weiteren Vorträgen wurde aufgezeigt, dass es gerade in der Epidemiologie schwierig ist, die Untersuchungen auf eine Strahlungsquelle zu fokussieren. So unterliegt der Einfluss von Rundfunk- und Fernsehsendern oder auch die berufliche Exposition sehr individuellen Schwankungen. Die-

se können nur durch besonders breit angelegte Studien richtig berücksichtigt werden. Die Langzeitexposition des Körper ist für Strahlung aus der Umgebung grundsätzlich eher gering. Davis ergänzte in einer anschließenden Diskussion, dass die Strahlungsleistung, die uns von Basisstationen erreicht, in etwa der Lichteinstrahlung der Venus auf die Erde entspricht. Andererseits ist aber auch der „normale“ Handygebrauch manchmal mit großer Variation der Strahlungsleistung verbunden. Ein mobiltelefonierender Autofahrer ist evtl. viel höherer Sendeleistung ausgesetzt als ein stationärer Handynutzer, da das Gerät bei dem sogenannten „hand over“ von einer Mobilfunkzelle zur nächsten kurzfristig mit maximaler Leistung sendet.

In der folgenden Session zur Dosimetrie berichtete Andreas Bitz (Wuppertal, D) über die Entwicklung einer UMTS-Expositionseinrichtung für bis zu 1000 Ratten. Die hier eingesetzten radialen Wellenleitungen werden oft als Hochfrequenz-Expositionsanlagen für Experimente mit einer großen Anzahl von Ratten, die sich frei in ihren Käfigen bewegen können, verwendet. Bei diesen Untersuchungen kann die SAR-Variation in den Tieren minimiert werden, wenn die elektromagnetische Feldverteilung in den Käfigen durch die TEM-Welle (transversale elektromagnetische Welle), die eine konstante Feldverteilung im Querschnitt der Wellenleitung besitzt, gegeben ist. Aufgrund der vorgeschriebenen Käfighöhe bei Langzeit-Versuchen mit Nagetieren können sich bei Expositionssignalen mit hoher Frequenz (z.B. im UMTS-Frequenzbereich) zusätzlich zu der gewünschten TEM-Welle auch unerwünschte höhere Wellentypen mit inhomogener Feldverteilung im Querschnitt ausbreiten und durch das ungünstige Verhältnis von Wellenlänge zu Rattengröße an den Tieren beliebig angeregt werden. Im Vortrag wurde zur Lösung dieser Problematik eine Entkopplung der Käfigbereiche durch Wände mit speziellen elektromagnetischen Eigenschaften realisiert,

so dass im Käfigvolumen nur die TEM-Welle und somit ein reproduzierbares Expositionsfeld vorliegt.

Moros (St. Louis, USA) beschrieb einen Expositionsaufbau, der es erlaubt, Zellkulturen bei hohen spezifischen Absorptionsraten (über 5 W/kg) zu bestrahlen. Durch eine Erweiterung des Belüftungssystems und eine zusätzliche Kühleinrichtung gelingt es, die unvermeidliche Erwärmung des wässrigen Nährsubstrats der Zellen zu kompensieren. Eine Konstanz der Temperatur von $37^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ kann so gewährleistet werden und thermische Schäden an den Kulturen ausschließen.

Wie schon im Vorjahr führte ein Vortrag aus der Gruppe von Ghandi (Salt Lake City, USA) zu einer überaus regen Diskussion über anatomische Kopfmodelle, welche zur Messung von SAR-Werten benötigt werden. Die hier diskutierten Punkte über die Größe, die Position und das Material eines Ohres für das Kopfmodell machen die Komplexität derartiger Sachverhalte deutlich. Schon eine leichte Änderung der Neigung des Modellohres zur Kopfachse führt zu Veränderungen des gemessenen SAR-Wertes. Eine oft gewählte 6 mm dicke Kunststoffohrmuschel suggeriert laut Ghandi oft viel geringere SAR-Belastungen als sie tatsächlich auftreten. Ein Konsens, welches „Ohr“ nun das „beste“ ist, konnte von den Wissenschaftlern nicht gefunden werden.

Mit der vielfach diskutierten Problematik der EMF-Exposition in Kraftfahrzeugen setzte sich der Beitrag von Meyer (Stellenbosch, ZA) auseinander. Er machte klar, dass es inzwischen geeignete Rechenmodelle gibt, die eine Computeranalyse der Feldverteilung ermöglichen. Daraus ergab sich z.B. für ein GSM 900 Signal eine deutliche Abhängigkeit der errechneten SAR-Werte von der Form des Autos.

Wang (Nagoya, J) beschäftigt sich mit der Exposition von Rattenjungens, um eine Beeinträchtigung der Blut-Hirn-Schranke in vivo zu untersuchen. Um die Nutzung

eines Handys möglichst genau zu simulieren ist es ihm dabei wichtig, im Bereich des Kopfes eine SAR in Höhe des Grenzwertes von 2 W/kg zu erreichen, die Gesamtkörperexposition aber unter 0,4 W/kg zu halten. Mit der von ihm dazu entwickelten Apparatur gelang es ihm das Verhältnis SAR (Kopf)/SAR (Gesamt) von 3,1 auf 6,9 zu erhöhen.

In der Mary Ellen O'Connor Memorial Student Session berichtete Naomi Shupak (London, CDN) über ein Experiment zum Effekt gepulster magnetischer Felder auf das Wärmeempfinden von Probanden. Getestet wurde, ob ein Magnetfeld (200 μT ; 0-500 Hz) einen Einfluss auf den Schwellenwert der Temperatur hat, welche die Versuchspersonen gerade noch als Wärmereiz wahrnehmen können. In diesem Experiment wurde keine Veränderung dieses Schwellenwerts durch das Feld festgestellt. Im Gegensatz zu anderen Studien zeigte sich hier aber eine geschlechtsspezifische Auffälligkeit: in dem Test besaßen alle Frauen einen niedrigeren Schwellenwert (ca. 36°C) als die getesteten Männer (ca. 38°C).

Vielfach klagen Mobiltelefonierende über eine Erwärmung des Ohres oder Kopfes durch ihr Handy, besonders nach langen Gesprächen. Diesem Phänomen widmete sich die Studie von Straume (Trondheim, N). Mittels einer Infrarotkamera wurde die Wärmeentwicklung bei ein- (900 MHz; 0,8 W/kg) bzw. ausgeschaltetem Handy verglichen. Dabei konnte recht klar gezeigt werden, dass die im Experiment auch messbare Erwärmung von bis zu 5°C nicht von der Strahlung des Gerätes, sondern durch die wärmeisolierende Wirkung des Kunststoffes hervorgerufen wird. Sicherlich ist bei diesem Phänomen auch nicht zu vernachlässigen, dass gerade bei längeren Telefongesprächen häufig durch Stress oder emotionale Reaktionen der Kreislauf zusätzlich stimuliert wird und so einen sprichwörtlichen Hitzkopf hervorruft.

Hata (Tokio, J) konnte in einer Untersuchung an Ratten (1439 MHz, 7,5 W/kg)

keine Veränderung der Konzentration des Hormons Melatonin beobachten. Über eine Veränderung der Geometrie von Rezeptorbindungsstellen berichtete Dominici (Rom, I). Die Verzerrungen traten jedoch nur bei extremen Feldstärken (gemessen wurde im Bereich von 500-500.000 MV/m) auf, die in unserer täglichen Umgebung keine Rolle spielen.

In den folgenden in vivo Sitzungen berichtete McLean (Nashville, USA) über eine besondere Auffälligkeit, die bei Untersuchungen an Mäusen in einem statischen Magnetfeld auftrat. Die von zwei verschiedenen Anbietern bezogenen Labormäuse zeigten, je nach Herkunft, unterschiedliche Reaktionen auf die Behandlung. Ein derartiges Phänomen war bereits auf der letztjährigen BEMS-Jahrestagung von Maren Fedrowitz beschrieben worden. Sie hatte festgestellt, dass sich inzwischen offenbar Unterstämme von Laborratten bei verschiedenen Züchtern ausgebildet hatten. Diese Beobachtung sind meines Erachtens von besonderem Wert, wenn es um die Diskussion der Übertragbarkeit von Tierstudien auf den Menschen geht. Solche Variationen in Versuchsergebnissen, die mit ansonsten gleichen Tierstämmen gewonnen wurden, fordern zu größter Sorgfalt bei der Risikoevaluierung auf.

Den mit der Blut-Hirn-Schranke in engem Zusammenhang stehenden Astrozyten widmete sich eine Arbeit von Lin (Chicago, USA). Er exponierte Ratten (837 MHz, 30 min, Peak-SAR von 0; 1,6; 16 und 80 W/kg) und untersuchte die Expression von Plectin, einem Protein des Cytoskeletts. Als vorläufiges Ergebnis schildert er keinen nachweisbaren Einfluss der RF-Feldes auf die Plectinexpression und somit auf die Organisation des Zellverbandes.

Ein therapeutischer Aspekt kommt im Bericht von Logani (Philadelphia, USA) zum Tragen. Die Gruppe konnte keine unterstützende Wirkung von Millimeterwellen (42,2 GHz, ca. 600 W/kg Peak-SAR) bei der Chemotherapie von Melanomen (Hautkrebs) an Mäusen beobachten.

Gleichfalls mit Mäusen arbeitete Pioli (Rom, I) und untersuchte die Immunantwort von Lymphocyten im GSM-900 Feld. Die Gruppe stellte bei SAR von 1 und 2 W/kg (2h pro Tag, 7 Tage Expositionsdauer) keine Veränderung der Zellen in Lymphknoten fest.

D'Inzeo (Rom, I) untersuchte die Erwärmung des Mittelohrs, akustische Reaktion und die Leistungsfähigkeit im Kopfrechnen an Probanden, die im Versuch ein Motorola „Timeport 260“ Handy benutzten. Dieses war so manipuliert, dass kontinuierlich mit einem 902,4 MHz GSM-Signal bei maximaler Leistung (2W) gesendet wurde. In 45-minütigen Tests wurde jedoch lediglich ein signifikanter Unterschied zwischen ein- und ausgeschaltetem Handy beobachtet, eine Temperaturerhöhung von 0,15°C im Mittelohr. Ein Wert, dem allerdings verglichen mit dem Ergebnis von Straume (s.o.), der schon bei ausgeschaltetem Gerät eine durch die Isolationswirkung bedingte, deutliche Erwärmungen am Ohr messen konnte, keine besondere Relevanz zugesprochen werden kann. Leider konnte D'Inzeo den Fragen zur Aussagekraft (Macht) seiner dedizierten statistischen Berechnungen nicht folgen.

Parazzini (Mailand, I) konnte bei der Untersuchung des Hörvermögens von Ratten und Meerschweinchen, unter Einfluss von GSM-900 und -1800 (2h/d, 5d/Woche, 4-wöchige Exposition bei 2 W/kg) keine Veränderungen beobachten.

Belyaev (Stockholm, S) fand in seiner Untersuchung an Rattenhirnen eine veränderte Genexpression, konnte aber keine DNA-Strangbrüche und veränderte Chromatin-Konformation nachweisen. Zur Exposition war in dieser Untersuchung der Ausgang eines Mobiltelefons (GSM-900, SAR = 0,4 mW/kg) direkt an eine TEM-Zelle angeschlossen.

Weitere Vorträge der in vivo Reihe beschäftigten sich mit Effekten niederfrequenter (ELF) und statischer Felder. Während Touitou (Paris, F) keinen Einfluss von 50 Hz Wechselstromfeldern auf die Mela-

toninproduktion und den circadianen Rhythmus von Arbeitern feststellte, entgegnete Hiwaki (Hiroshima, J) in seinem Vortrag, dass an Ratten eine Veränderung des circadianen Bewegungsrhythmus zu beobachten sei. Keinen Effekt von ELF fand auch Ushiyama (Tokio, J) als er den Blutfluss in Hirntumoren von Mäusen untersuchte. Über eine schützende Wirkung von Magnetfeldern berichtete Mattsson (Örebro, S). Hühnerembryonen konnten mit Hilfe eines vertikalen 50-60 Hz Feldes vor dem schädigenden Einfluss von UV-Strahlung bewahrt werden.

Die Plenumsitzung zum Thema Mechanismen wurde von Dariusz Leszczynski eröffnet. Er setzte sich mit der Schwierigkeit auseinander, aus vielen, sicher häufig widersprechenden Studien die Informationen herauszufiltern, die für eine realistische Risikobewertung hilfreich sind. Zwar wurde eine Vielzahl von Ergebnissen inzwischen auch einer, teils mehrfachen, wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen, doch oftmals ohne notwendige Innovationen im Versuchsdesign. Gleichzeitig erhöht sich jedoch der Druck aus der Öffentlichkeit, der Industrie und der Politik, endlich plausible Antworten zum Gefahrenpotential elektromagnetischer Felder zu finden. Häufig wird von der Epidemiologie erwartet, mit Hilfe sehr breit angelegter Untersuchungen diese Fragen zu beantworten. Diese sind allerdings wenig geeignet, einen wissenschaftlichen Beweis für eine schädliche Wechselwirkung zu führen. Hier könnten sich neue Hilfsmit-

tel, Techniken wie Proteomics und Genomics, also die globale Analyse von Protein- und Genexpression, als Schlüsseltechniken erweisen. Sie eröffnen die Möglichkeit, simultan die Ausprägung und das Wechselspiel Tausender von Genen und Proteinen zu untersuchen, und sind so in der Lage, auch unvermutete Effekte aufzuspüren. Nicht zu unterschätzen ist aber meines Erachtens die sich aus dieser von Leszczynski favorisierten Methodik ergebende Notwendigkeit, die physiologische Relevanz veränderter Expressionsmuster aufzuklären.

Prohofsky (W. Lafayette, USA) erläuterte in seinem Beitrag die physikalischen Möglichkeiten von Molekülen, insbesondere Makromolekülen wie sie Proteine und die DNA darstellen, mit RF-EMF in Wechselwirkung zu treten. Gerade im RF-Bereich, erläuterte er, ist es für die allermeisten Biomoleküle ausgeschlossen die Strahlungsenergie aufzunehmen. Oft ist die entsprechende Resonanzbedingung als Voraussetzung nicht erfüllt, in vielen Fällen, besonders bei der DNA, erfolgt ein schneller Energietransfer auf benachbarte Wassermoleküle, bevor es zu einer Schädigung des Makromoleküls kommen kann.

Bei der Exposition der Augen von Kaninchen konnte Kojima (Kanazawa, J) Entzündungsreaktionen beobachten. Nach 100-minütiger Bestrahlung bei einer Frequenz, mit der auch Mikrowellenherde arbeiten (2,45 GHz), und einer SAR von mehr als 100 W/kg ist dies allerdings keine Überraschung mehr. Die Augen der Tiere wurden dabei bis zu 43°C erwärmt. Eine wis-



Waianapanapa State Park

senschaftlich nachvollziehbare Rechtfertigung für derartige Tierversuche ist allerdings schwer zu finden. Eine Schädigung des Rufs vieler sinnvoller tierexperimenteller Arbeiten muss hier nicht über-raschen.

Hook (St. Louis, USA) untersuchte DNA-Schädigung nach RF-EMF Exposition bei bis zu 10 W/kg. Im Gegensatz zu früheren Arbeiten von Lai und Singh konnte er keine Veränderungen der DNA von Rattenhirnen finden.

Mit menschlichen Probanden wurden Studien von Lindholm (Helsinki, SF) und Kantz (Stuttgart, D) durchgeführt. Lindholm konnte widerlegen, dass sich durch Mobiltelefone (900 MHz, 1,58 W/kg und 1800 MHz, 0,704 W/kg) nach 35-minütiger Gesprächsdauer der Blutdruck erhöhen könne. Kantz zeigte, dass die Exposition mit hochfrequenten Signalen (appliziert wurde ein Frequenzspektrum zwischen 5,8 und 110 GHz) keine signifikanten Auswirkungen auf den Ruhepuls, die Leitfähigkeit der Haut, Hauttemperatur und ebenfalls den Blutdruck hatte.

Eine neue Untersuchung von Haarala (Turku, SF) widerlegte frühere Erkenntnisse seiner Gruppe. Nach einer Verbesserung des Versuchsdesigns konnten keine Einflüsse auf kognitive Fähigkeiten der untersuchten Personen beobachtet werden (GSM-900, 0,88 W/kg, Peak-SAR: 1,2 W/kg).

Nicht grundsätzlich muss die Diskussion um EMF-induzierte Schädigungen geführt werden, wie die Arbeit von Radziewsky (Philadelphia, USA) zeigte. Diese untersuchte, auf welchem Wege Millimeterwellen das Wachstum von Melanomen in einem Mausmodell unterdrücken. Radziewsky konnte zeigen, dass die gewählte Exposition (61,22 GHz, 15 mW/cm², 15 min) über einen Einfluss auf endogene Opioide das Immunsystem stimuliert und so das Tumorstadium hemmen kann.

Die in vivo Sitzungen schlossen mit einer Präsentation von Masuda (Pessac, F) aus der Arbeitsgruppe von Veyret. Diese

untersuchte gesunde Haut von haarlosen Ratten, die über 2 Stunden mit Mikrowellen (GSM-900 oder -1800, 4 W/kg) bestrahlt worden waren. Der Vergleich zu scheinexponierten Tieren und zur Kontrollgruppe (Ratten die fortwährend im Stall verblieben waren) zeigte keinerlei Hautveränderungen. Masuda gab allerdings zu bedenken, dass zur genaueren Beurteilung noch Experimente ausstehen, bei denen die Expositionsdauer mindestens der etwa 6- bis 7-wöchigen Generationsdauer der Haut entspricht.

Colin McCaig und Kollegen aus Aberdeen (Schottland) setzten sich mit ihrem Posterbeitrag mit einer endogenen Quelle für ein EMF auseinander. Dieses Feld entsteht bei einer Verletzung der Cornea (Hornhaut des Auges) und beeinflusst die Wachstumsrichtung von Nervenfasern bei der Wundheilung. Durch Verstärkung des natürlichen Feldes von außen konnte McCaig eine beschleunigte Wundheilung induzieren, die entsprechend bei einer Abschwächung des Feldes verlangsamt wurde.

Resümee

Bei der Komplexität der Fragestellungen ist es vielleicht nicht überraschend, dass im Vergleich zur letztjährigen Jahrestagung kein wesentlicher Durchbruch erzielt werden konnte. Gerade wegen des komplexen Zusammenspiels aller naturwissenschaftlichen Disziplinen drängt sich die Forderung nach einer verbesserten Kommunikation zwischen verschiedenen Fachgebieten auf. Oft fehlten Vorträgen erläuternde Einleitungen, so dass gerade bei der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit die vorgestellte Problematik nicht immer ausreichend klar wurde, insbesondere wenn man nicht „vom Fach“ des Vortragenden ist und dessen frühere Arbeiten nicht vollständig kennt. Dies kann jedoch - das Organisationskomitee hob die außerordentlich hohe Zahl studentischer Tagungsteilnehmer besonders lobend hervor - nicht grundsätzlich vorausgesetzt werden. Da sich unter den Vorträgen auch

recht schwache Beiträge fanden, wäre es wünschenswert für die Vorträge mehr Zeit als die vorgegebenen 12 Minuten einzuräumen und dafür in der Zahl etwas zu reduzieren. Die mit viel mehr Zeit ausgestatteten Plenarvorträge waren wiederum teils zu weit ausschweifend. Die rundum gut organisierte Tagung ließ leider mit fortschreitender Zeit die Stringenz der eigenen Vorgaben vermissen. Verschiebungen ganzer Vortragsblöcke wurden nur einmalig angekündigt, so dass ich mich mitunter im „falschen Film“ wiederfand und Präsentationen, die ich gern gehört hätte, bereits beendet waren. Besonders ärgerlich war, dass trotz eindeutiger Vorgaben der Organisation wenige Vortragende ihre Präsentation wirklich auf den Tagungscomputer übertragen hatten. So hatte man ausreichend Gelegenheit die Meldung „no signal“ des Projektors zu studieren, während ein weiterer (der private) Laptop sich Anschlussversuchen widersetzte.

Zu betonen sind an dieser Stelle sicherlich noch mal die Forderungen von Sheila Johnston. Zur Risikoabschätzung ist es letztlich wenig hilfreich, quasi auf Biegen und Brechen messbare Reaktionen biologischer Systeme auf EMF zu suchen. Es ist unabdingbar, sich auch um die Konsequenzen dieser Reaktionen zu kümmern und deren Relevanz zu verstehen. Des weiteren ist zwingend auch die Relevanz des untersuchten Modells zu hinterfragen, um nicht Gefahr zu laufen, Äpfel mit Birnen zu vergleichen.

Unabhängig davon stellt eine breit angelegte Suchstrategie, wie sie durch Untersuchung der Gen- und Proteinexpression verfolgt wird, eine zukunftsweisende Technologie dar, die auf lange Sicht die Frage, wo nach einer molekularen Wechselwirkung von Feld und Biologie zu suchen ist, besser aufklären wird als die bisherige Vielzahl von Detailuntersuchungen.

Dr. Helmut Franke
Universität Münster
Klinik und Poliklinik für Neurologie