

23.- 27. Juni 2002, Québec City, Kanada

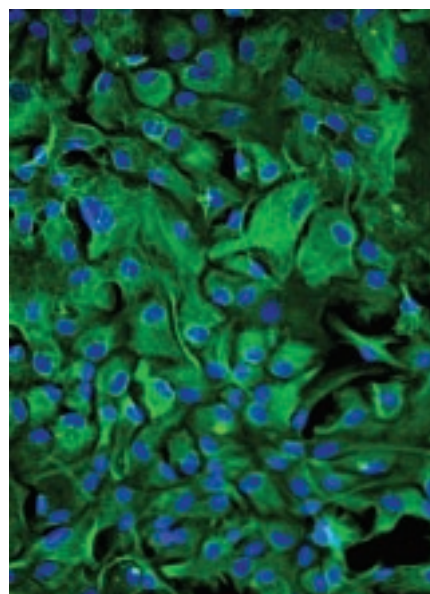
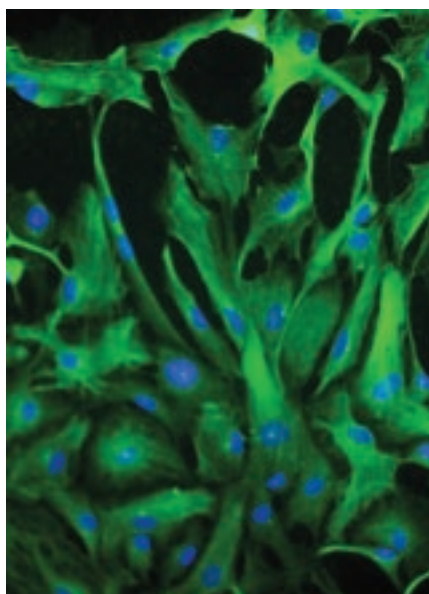
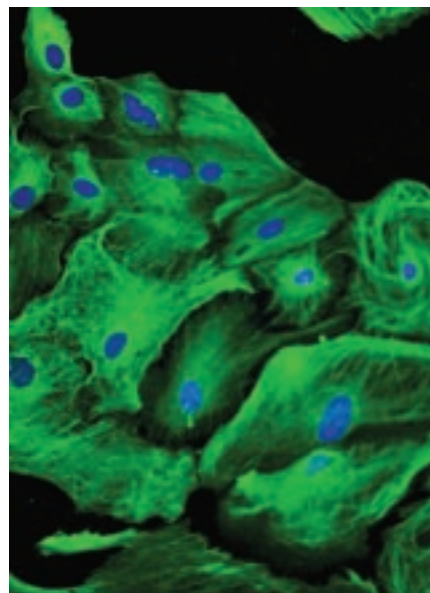
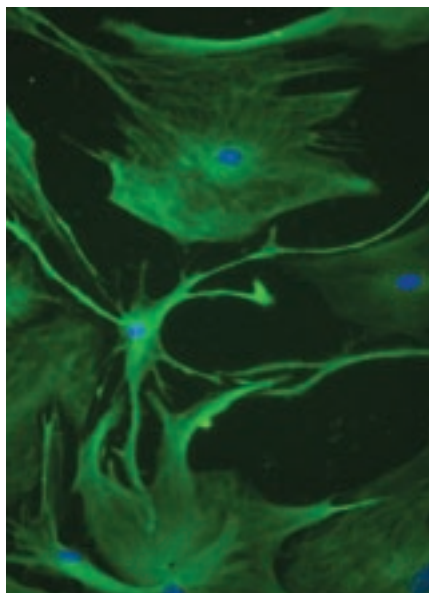
24. Jahrestagung der Bioelectromagn

von Helmut Franke

Mit dem Bericht von Dr. Franke fügt sich ein neuer Berichtstatter in Reihe der FGF-Autoren ein. Dr. Franke arbeitet als forschender Biochemiker besonders auf dem Gebiet der Blut-Hirn-Schranke und hat auf der BEMS 2002 einen eigenen Beitrag zu diesem Thema vorgetragen.

Anmerkung des Autors

Die Beiträge der diesjährigen Jahrestagung befassten sich mit Themen aus den Bereichen: Transkranielle Magnetische Stimulation (magn. Stimulation durch die geschlossene Schädeldecke), in vitro Studien, in vivo Studien am Tier, in vivo Studien am Menschen, Schmerz Entstehung und Behandlung, Dosimetrie von Radiofrequenzen, neue Therapieformen, medizinische Anwendungen, Epidemiologie, Mechanismen der Wechselwirkung, Radiofrequenzen und Wahrnehmung, Präsentationen des REFLEX Projekts. Eine Auswahl von Beiträgen, mit einem Schwerpunkt auf den Themenkreis der Risikobewertung von Mobilfunktelephonie soll hier aus meiner Sicht zusammengefasst werden.



Immunfluoreszenzen an Astrozyten aus der Ratte
grün: GFAP – Glial Fibrillary Acid Protein; blau: Kerngegenfärbung mit DAPI

etic Society (BEMS)



Transkranielle magnetische Stimulation

Die erste Plenarsession beschäftigte sich mit den Möglichkeiten der transkraniellen Stimulation (TMS). Dabei werden mit Hilfe einer Spule gezielt Hirnbereiche mit sehr hohen Magnetfeldstärken von 1T und größer stimuliert.

So beschrieb Ueno (Tokio, J) Untersuchungen mit einer 8-förmigen, anstatt der üblicherweise verwendeten kreisförmigen TMS-Spule. Reizt man (1T; 0,1-0,2 ms) verschiedene Hirnregionen bzw. -punkte per TMS, so kann dabei eine Bewegung einzelner Finger oder der Gesichtsmimik induziert werden. Ueno berichtete von einer TMS-hervorgerufenen Störung des assoziativen Lernens. So konnten sich Probanden in einem dem Memory-Spiel ähnlichen Test Symbolpaare schlechter merken, wenn eine vordere rechte Hirnregion TMS ausgesetzt wurde. Weiter stellte Ueno einen möglichen therapeutischen Ansatz zur Behandlung zentralnervöser Erkrankungen wie Depressionen und der Parkinsonschen Krankheit vor. Er konnte im Labor an Parkinson-ähnlich geschädigten Zellen des Hippocampus von Ratten mittels repetitiver TMS (Pulse von 1,2 T über 48 h) eine Regeneration des geschädigten Bereichs hervorrufen.

Rothwell (London, GB) ging ebenfalls auf eine Beeinträchtigung der kognitiven Reaktion von Probanden ein. In einem interessanten Experiment konnte er zeigen,

dass eine TMS Stimulation des visuellen Cortex Blinde beim Lesen von Brailleschrift behindern konnte, wogegen Sehende beim Abtasten von erhabenen Buchstaben keinerlei Behinderung feststellten. Daraus schließt er, dass das Sehzentrum von blinden Personen beim Lesen von Braille aktiviert ist. Rothwell betont abschließend, dass alle durch die TMS hervorgerufenen Effekte nur vorübergehender Natur sind.

Vortragsreihe: „In vitro Studien“ (Sessions 1 und 3)

In der Session zu in vitro Experimenten erläuterte Nindl (Terre Haute, USA) den therapeutischen Effekt elektromagnetischer Felder (EMF) bei Entzündungen. Humane Jurkat-Zellen als Modell für die T-Lymphozyten des Immunsystems wurden in drei verschiedenen Zuständen, sich normal teilende, Apoptotische und entzündete Zellen untersucht. Jeder Gruppe wurde gepulsten Magnetfeldern mit Amplituden von 5-20 mT ausgesetzt. Während normale Jurkat-Zellen keine und Apoptotische nur minimale Effekte zeigen beobachtete Nindl an den entzündeten Zellen eine Verdopplung des Interleukin-2 Spiegels und ein Rückgang der Teilungsrate um bis zu 30%. Die, auch vom Zellzyklus abhängigen Effekte der EMF eröffnen möglicherweise einen Weg über den eine Modulation von Entzündungsvorgängen

möglich ist, die keinen negativen Einfluss auf das Immunsystem nimmt.

Studie zur Blut-Hirn-Schranke von Leszczynski

Besondere Beachtung fand ein Beitrag von Leszczynski (Helsinki, SF). Dem Titel seines Vortrages nach hat er auf molekularer Ebene einen Mechanismus aufgeklärt, auf dem die Blut-Hirn-Schranke (BHS) durch Einwirkung von Mobilfunkstrahlung beschädigt wird. Auch seine bereits in den Medien (BBC, Bild der Wissenschaft) intensiv diskutierte Publikation in „Differentiation“ (*Differentiation* 2002, 70:120-129) suggeriert zunächst eine richtungsweisende Aufklärung durch die Arbeit dieser finnischen Gruppe.

Leider beschränkt sich Leszczynski in seinen Aussagen jedoch ausschließlich auf Hypothesen und Postulierungen über den Einfluss der beobachteten Effekte auf die Blut-Hirn-Schranke. Interessanterweise handelt es sich bei den vom ihm verwendeten *EA.hy926* auch nicht um Zellen, welche die BHS repräsentieren, sondern vielmehr um Zellkulturen aus der Nabelschnur. Die Morphologie, also das äußere Erscheinungsbild der Zellen auf den von ihm präsentierten Photos, hat auch keinerlei Ähnlichkeit mit der typischen Spindelform von BHS-Endothelzellen. Auch auf deren wichtigste Eigenschaft, die Schrankenbildung durch sogenannte „tight junctions“ geht er nicht ein.

Bei Exposition (GSM 900; 2W/kg; 1h) mit Mobilfunkstrahlung findet Leszczynski unter nichtthermischen Bedingungen eine Steigerung der Phosphorylierung des Hitzeschockproteins 27 (*hsp27*) und eine erhöhte Expression der Proteine *hsp27* und *p38-map-kinase*. Die in seinem Vortrag gezeigten Fotos indirekter Immunfluoreszenzfärbungen konnten jedoch nicht von diesem Ergebnis überzeugen. Auch die von ihm gezeigte Induktion von „Stress-Fasern“ genannten Aktinfilamenten in den Zellkulturen war anhand der Fotos schwer nachzuvollziehen.

Ferner berichtete er von einem Screening, in dem mittels 2D-Gelelektrophorese und Westernblots über 1200 verschiedene Signale erhalten wurden, unter diesen über 300 von Phosphoproteinen deren Phosphorylierungsgrad nach Mobilfunkbestrahlung verändert war. Von diesen konnte er bisher nur eines, das oben genannte *hsp27*, identifizieren. Ein Zusammenhang dieser Beobachtung mit einer Schädigung der Barrierefunktion der BHS wird, wie er wiederholt betonte, bisher nur vermutet. Auf eine Eignung der *EA.hy926* Zellkultur als Modell für die BHS ging er weder in seinem Vortrag, noch in der anschließenden Diskussion ein. Eine neue Faktenlage bringt die Arbeit daher bezüglich der Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke durch elektromagnetische Felder nicht.

Studien zu Hitzeschockproteine, Lymphozyten, Neuriten, Dichtigkeit der Hirnhaut und BHS

Sontag (Karlsruhe, D) untersuchte die Induzierbarkeit des Hitzeschockproteins *hsp72* durch niederfrequente EMF (0-60 Hz; 1mT: 15 min) an menschlichen HL-60 Zellen. Zwei Stunden nach der Exposition beobachtet er ein Maximum der Erhöhung des *hsp72* Spiegels. Der hier gefundene Effekt zeigte eine Frequenzabhängigkeit: So konnte eine statistisch signifikante Erhöhung nur bei 20 Hz und 50 Hz beobachtet werden. In der Diskussion zu diesem Beitrag wurde darauf hingewiesen, dass ein anderes Hitzeschockprotein, *hsp70*, schon mit etwa 100-fach geringeren Magnetfeldstärken in Zellkulturen induzierbar sei.

Den Effekt von ELF und Mikrowellen auf Lymphozyten untersuchte Belyaev (Stockholm, S) bei elektrosensiblen und normal empfindlichen Menschen. Aus der Stichprobe von nur jeweils sieben Untersuchungen können jedoch keine eindeutigen Hinweise, die das Phänomen Elektrosensibilität erklären können, gefunden werden.

Keinen Effekt von EMF (0,3 mT; 2Hz) auf das Wachstum von Neuriten in einem Hühnerembryo-Modell beobachtete Herbst (Egdeewater, USA).

Veyret (Bordeaux, F) berichtete über Experimente zur Beeinflussung der Dichtigkeit der Hirnhaut und der Blut-Hirn-Schranke. In einer Röhre fixierte Ratten wurden mit Mobilfunkstrahlung entsprechend dem GSM 900 Standard (2 h, 0,12-2 W/kg gemittelt über das gesamte Hirn) bestrahlt. Verglichen wurden zwei Rattentypen: normale und solche mit einer künstlich hervorgerufenen, chronischen Entzündung der Hirnhaut. Beobachtet wurde der Durchlass eines Markers: fluoreszenzmarkiertem Rinderserumalbumin (BSA). Über den mit einer Thermistor-Sonde gemessenen Temperaturanstieg kann in diesem System neben einem Berechneten auch ein quasi „vor Ort“ gemessener SAR-Wert angegeben werden. Auffällig ist, dass der gemessene SAR-Wert stets etwa die Hälfte des berechneten SAR-Wertes beträgt.

In den Blutgefäßen der Hirnhaut ist bei gemessenen 0.2 W/kg kein von der Kontrolle zu unterscheidendes Signal zu erkennen, bei 0.9 W/kg findet Veyret ein schwaches und bei 3,5 W/kg ein starkes Signal, welches einen deutlichen Austritt des Markerproteins FITC-BSA anzeigt. In Gehirnschnitten konnte nach der Bestrahlung bei einer in 5mm Tiefe gemessenen SAR von 2,7 W/kg (berechnet 5,3 W/kg) ein starker Austritt des BSA detektiert werden, wogegen bei 1,3 W/kg und 0,3 W/kg kein Übertritt von BSA über die Blut-Hirn-Schranke mehr beobachtet wurde.

Die Ergebnisse zeigen demnach sowohl eine Erhöhung der Durchlässigkeit für die Hirnhaut, die keine explizite Schrankenfunktion ausübt, als auch für die schrankenbildende BHS. Leider sind die hier qualitativ vorgestellten Werte nicht miteinander vergleichbar, da für die BHS das Fluoreszenzsignal mit Hilfe einer Antikörperreaktion gegen das Markerprotein massiv verstärkt wiedergegeben wurde. Die Photographien zeigen im Fall der Durch-



trittsuntersuchung an der Hirnhaut aber nur die Eigenfluoreszenz des Markerproteins.

Die SAR-Werte, bei denen Veyret eine starke Wanderung des Markers durch die Blutgefäße beobachtete, sind mit 3,5 W/kg bzw. 2,7 W/kg recht hoch und überschreiten den empfohlenen Teilkörpergrenzwert für den Kopf (2 W/kg).

Ebenfalls mit der Blut-Hirn-Schranke befasst sich die Gruppe um Masuda (Tokio, J) welche mit EMF-exponierten Ratten (1h /Tag, 5Tage/Woche, 4W/kg durchschnittl. am Hirn, 1,439 MHz) arbeitet. Durch ein dauerhaft angebrachtes Fenster in der Schädeldecke konnten sie keine Veränderungen im Verhalten weißer Blutkörperchen sowie keine Beeinträchtigung der BHS-Funktion beobachten. Die mittels eines Fluoreszenzfarbstoffes vorgenommene Quantifizierung der Dichtigkeit der BHS konnte anhand der gezeigten Aufnahmen nicht überzeugen. Offen blieb auch die Frage, warum gerade die nicht-schrankenbildenden Blutgefäße der weichen Hirnhaut als Untersuchungsmodell für die BHS herangezogen wurden.

Gottwald (Karlsruhe, D) machte mit seinen Experimenten klar, das eine erhöhte mRNA Konzentration auf zellulärer Ebene nicht zwingend auch Auswirkungen auf die Proteinausbildung haben muss. So konnte er nach Bestrahlung einer Leberzellkultur (*HepG2*) mit niederfrequenten magnetischen Feldern (50 Hz, 1 mT, 15 min) eine starke Konzentrationserhöhung der für das Hitzeschockprotein 72 kodierenden mRNA, jedoch keine korrelierende Erhöhung der Proteinexpression messen.

Ein der oft postulierten Gefahr der Krebsauslösung durch EMF widersprechendes Ergebnis präsentierte Perrin (La Tronche, F). Mit gepulsten Feldern bestrahlte Bakterien (2,45 GHz, 217 Hz Modulation, 3,3 W/kg) zeigten eine zur Kontrollgruppe signifikant erniedrigte Mutationsrate wenn sie mit einer krebserzeugenden Substanz behandelt wurden. Auch McNamee (Ottawa, CDN) konnte an menschlichen weißen Blutkörperchen keinen genotoxischen Effekt feststellen wenn sie einem Wechsel-

feld von 1,9 GHz (entsprechend einer US-Mobilfunkfrequenz) mit bis zu 10 W/kg für eine Dauer von 2-24 h ausgesetzt wurden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam Sasser (Washington, USA); er konnte in seiner von Motorola unterstützten Untersuchung auch keine Krebszeugung in Ratten beobachten, die an 2 h/Tag, 5 Tage/Woche über 2 Jahre bestrahlt wurden (SAR 0,16 W/kg und 1,6 W/kg).

Vortragsreihe: Hochfrequenz und Hirnfunktion (Session 4)

Einen Überblick zur kontroversen Diskussion über die Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung auf die Gesundheit der menschlichen Gehirns gab Morrissey (Fort Lauderdale, USA). Er zeigte, dass die Anzahl von Studien die einen negativen Einfluss zeigen, sich zahlenmäßig mit denen in der Waage halten, die keine Auswirkungen beobachtet haben. Oft zeigten sich in Untersuchungen auch Effekte die, wenn auch statistisch signifikant, so doch von sehr geringer Intensität sind oder aber nicht von unabhängigen Labors reproduziert werden können. Aus der Summe der von ihm zusammengetragenen Studien lässt sich kein Einfluss über einen geläufigen Mechanismus nachvollziehen. Besonders auf dieser mechanistischen Ebene ist daher weiterer Forschungsaufwand gefragt, um ein besseres Verständnis der Wechselwirkung von EMF mit biologischen Systemen entwickeln zu können.

Vortragsreihe: In vivo Studien – Tier und Mensch (Session 5 und 6)

Fedrowitz (Hannover, D) stellte in ihrem Vortrag heraus, dass sich von typischen Laborratten (Sprague-Dawley Ratten), inzwischen Unterstämme herausgebildet haben, die bei identischem Versuchsprofil unterschiedliche Reaktionen zeigen. Für Experimente die auf die Reproduktion von Ergebnissen anderer Forschungsgruppen abzielen, ist daher die Auswahl des Tierstamms von entscheidender Bedeutung.

Möglichst sollte daher die gleiche Bezugsquelle für die Versuchstiere ausgewählt werden.

Bei seinen Untersuchungen zu Erwärmungsphänomenen von Haut und darunter liegenden Geweben durch mm-Wellen Strahlung (75 GHz) beobachtete Alexseev (Philadelphia, USA) eine maximale Erwärmung unterhalb der Hautoberfläche. Weiterhin konnte er zeigen, dass mittels Konduktion ein Wärmetransport in tiefere Gewebeschichten stattfindet. Daher muss die Möglichkeit einer Gewebsschädigung durch Überhitzung auch in tiefen Regionen, die unterhalb der (durch die Wellenlänge bedingten) maximalen Eindringtiefe der mm-Wellen liegen, in Betracht gezogen werden.

In auffallend deutlicher Form wurde von Adey und Elder (Motorola Florida Research Labs, Fort Lauderdale USA) einem Zusammenhang von EMF und gesundheitlichen Beeinträchtigungen widersprochen. In einem Review stellte Elder anhand von Daten ausgewählter Untersuchungen dar, dass es keine Grundlage für eine erhöhte Gefährdung von Kindern durch Mobilfunktelefonie gibt. Die anschließende Diskussion wurde sehr scharf geführt. Die betont lässig formulierten Äußerungen Elders stellten viele Zuhörer in Frage, der wissenschaftlichen Hinterfragung seiner Ausführungen hatte er nur wenig entgegenzusetzen.

Plenarsitzung: Schmerzbehandlung

In seinem Beitrag zur Plenarsitzung über das Thema Schmerz wies Thomas (London, CDN) auf die Einsatzmöglichkeiten gepulster Elektromagnetischer Felder zur Behandlung chronischer Schmerzpatienten hin. Er schloss dabei allerdings einen Zusammenhang dieser Art der Therapie mit dem Placeboeffekt nicht aus.

Vortragsreihe: Dosimetrie (Session 7 und 9)

Bitz (Wuppertal, D) referierte über die Exposition von Personen im Nahfeld von

Multi-Band-Basisstationsantennen. Die Bestimmung von Sicherheitsabständen für beruflich exponierte Personen (z. B. Techniker von Mobilfunkbetreibern, Dachdecker, Schornsteinfeger) vor Basisstationsantennen des Mobilfunks basiert auf den empfohlenen Grenzwerten des Expositionsbereiches 1 für die spezifische Absorptionsrate (SAR). Da die spezifische Absorptionsrate eine in der betrieblichen Praxis nur schwer zu erfassende Größe ist (es gibt keine portablen Geräte zur SAR-Messung), wurden am Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik komplexe numerische Berechnungsverfahren zur Ermittlung der elektromagnetischen Nahfelder einer Mobilfunkantenne entwickelt, um daraus mit Hilfe von Computermodellen für den menschlichen Körper die benötigten SAR-Verteilungen zu bestimmen.

Dazu stellte er ein neues Modell für Messungen an einem menschenähnlichen Körper vor. Gemäss den CENELEC Empfehlungen hat diese Modellfigur nur noch ein Gewicht von 42 kg anstatt der 110 kg des üblicherweise verwendeten. Im Vortrag wurde insbesondere die Problematik der Exposition vor Multi-Band-Basisstationsantennen, dies sind Antennen die zeitgleich in verschiedenen Frequenzbändern (z. B. GSM- und UMTS-Netze) betrieben werden können, behandelt. In diesem Fall wird die Exposition durch die Überlagerung aller

SAR-Verteilungen bei den einzelnen Betriebsfrequenzen bestimmt.

Schmid (Wien, A) beschrieb in seinem Vortrag die mit zunehmender Zeit (bis zu 20h) abnehmende elektrische Leitfähigkeit des Gehirns nach dem Tode. Da Messprogramme für Berechnungen der (frequenzabhängigen) Leitfähigkeit auf Daten zurückgreifen, die an toten Gehirnen ermittelt wurden sollte lt. Schmid berücksichtigt werden, dass im lebenden Hirn die Leitfähigkeit um bis zu 20% höher sein kann.

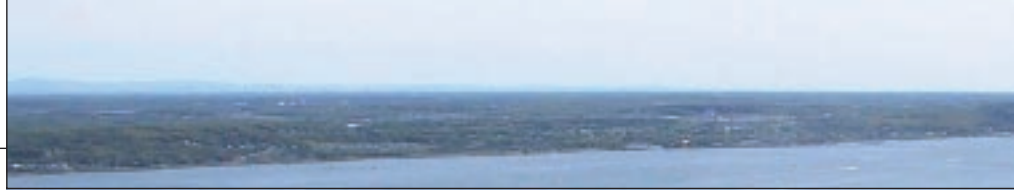
Kinderkopf-Modelle für numerische Kalkulationen

Gandhi (Salt Lake City, USA) hatte in früheren Rechnungen (1996) erhöhte SAR-Werte und größere Eindringtiefen an einem Modell eines Kinderkopfes ermittelt. Diese, in den Medien oft zitierten Ergebnisse sind einer der Gründe, aus denen häufig empfohlen wird, dass Kinder möglichst wenig per Handy telefonieren sollten. Darauf basierend entwickelte die Gruppe um Guy (Seattle, USA) ihrer Auffassung nach exakter modellierte Kinderkopfmodelle durch metrisch genaue Verkleinerung des Modells eines Erwachsenenkopfes. Der Unterschied der beiden Modelle besteht lediglich in der rechnerischen Verkleinerung des zugrunde liegenden Erwachsenenkopf-Modells. Während

Gandhi lediglich die Voxel (das sind Raumeinheiten mit denen der Computer rechnet) verkleinert, deren Anzahl aber beibehält, berechnet Guy sein Kinderkopfmodell mit einer verringerten Voxelanzahl. An den so errechneten Kopfmodellen für ein 5- und ein 10-jähriges Kind konnte Guy keinen nennenswerten Unterschied zum Erwachsenenkopf feststellen. Dabei wurden jeweils die maximale SAR in einer kleinsten Volumeneinheit (Voxel), in einem Gramm Hirngewebe und die Eindringtiefe verglichen.

Die lebhaft geführte Diskussion zu diesem Vortrag machte die Problematik solcher Modelle noch deutlicher. Keines der Modelle wurde von einer Mehrzahl der Diskutierenden vorgezogen. Es wurde jedoch betont, im Falle der Unsicherheit besser das Modell Gandhis zu benutzen, um die „worst case“ Situation zu simulieren. Gandhi selbst stellt in seinem Vortrag ein Kopfmodell vor, das das Vorhandensein des Ohres zwischen Mobilfunktelefon und Kopf berücksichtigt. Unter Anpassung der elektrischen Parameter (Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit) des Materials für das hier verwendete Plastikohr konnte er ein anatomisch realistisches Modell aufbauen. Damit wird dem durch das Ohr hervorgerufenen Abstand vom Kopf von etwa 6 mm Rechnung getragen, ohne wie bei anderen Modellen mit Plastikohr, eine Abschirmung der Strahlung um einen Faktor von 2,5-3 in Kauf nehmen zu müssen.

Strecker (Wuppertal, D) stellte ein EMF-Expositionssystem für Zellkulturen der BHS (Blut-Hirn-Schranke) vor, welches mit Unterstützung der FGF aufgebaut wurde. Dieses System ermöglicht die homogene Bestrahlung von Zellkulturen mit Feldern die dem GSM- oder UMTS-Standard entsprechen. In das System integriert ist ein Messaufbau zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes der auf einem Filter in der Apparatur angebrachten Zellschicht. Diese kann während der Bestrahlung erfolgen und erfordert keine manuellen Eingriffe in den Messaufbau, so dass eine Störung



durch die Messungen selbst ausgeschlossen werden kann. Somit kann die Schrankenfunktion der BHS, die in dieser Zellkultur analog zum Organismus ausgeprägt wird, während der Bestrahlung über Widerstandsmessungen ermittelt werden. Das kreisförmig gebaute Hohlleitungssystem kann parallel bis zu 60 Einzelkulturen aufnehmen und gewährleistet eine homogene Feldexposition für jede einzelne Kultur. Die über einen weiten Bereich variable Leistungsregelung der Strahlungsquelle erlaubt Expositionsintensitäten deutlich unter- und oberhalb der gültigen SAR-Grenzwerte. Ziel der geplanten Experimente ist, erstmals die Einflussnahme vom EMF auf biochemische Prozesse und deren Mechanismen aufzuklären. Hier bietet die Arbeit mit Zellkulturen einen großen Vorteil zu Untersuchungen am Gesamtorganismus. Individuelle Unterschiede zwischen einzelnen Versuchstieren können, ebenso wie Stressantworten, die durch das zumeist notwendige fixieren des Versuchstiers in der Expositionsapparatur hervorgerufen werden, ausgeschlossen werden. Da keine Bewegung stattfindet ist die Bestrahlungsdosis exakt definier- und messbar.

Eine Untersuchung zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten präsentierte Neubauer (Salzburg, A). Eine speziell entwickelte Software, die mit detaillierten Informationen über die Bebauung in Stadtgebieten ausgestattet ist, berechnet dazu Orte in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen, an denen eine besonders hohe Strahlung erwartet wird. Messungen an Orten die an auf diese Art ermittelt wurden ergaben, dass der hier vorgesehene Grenzwert von 1mW/m^2 an 8 von 13 Messpunkten überschritten wurde.

Silny (Aachen, D) untersuchte den Einfluss gepulster (2 Hz, 8 Hz, 217 Hz) und ungepulster EMF (~950 MHz) auf Herzschrittmacher über kurze Distanzen von etwa 20 cm. Die stärkste Interferenz konnte er bei einer Pulsung von 8 Hz feststellen, wogegen der Schwellenwert zur Einflussnahme bei der für den Mobilfunk ty-

pischen Pulsung von 217 Hz wie auch bei ungepulstem Feld deutlich größer war.

Rechnerische Modelle zur Quantifizierung der Strahlenbelastung stellten Meyer u.a. (Stellenbosch, ZA) und Foster u.a. (Philadelphia, USA) vor. Meyer kalkulierte die EMF-Belastung für den menschlichen Körper im Nahfeld von Basisantennen, Foster konnte ein Modell zur Ermittlung der thermischen Belastung des Auges von Rhesusaffen präsentieren.

Ein sogenanntes generisches UMTS-Signal, wurde von Glasmachers (Wuppertal, D) vorgestellt. Dieses Signal simuliert für Experimente im Labor den Signalverlauf wie er bei einem Gespräch mit einem UMTS-Handy aufgebaut sein könnte. Die Modulation der UMTS-Trägerfrequenz wurde so ausgewählt, dass alle Frequenzbereiche repräsentiert werden, von denen eine mögliche Wechselwirkung mit biologischen Systemen anzunehmen ist. Somit wird quasi ein „worst case“ Szenario simuliert.

Neue Therapieformen (Session 10)

In einer Session über neu aufkommende Therapieformen wurden verschiedene Arbeiten zur Nutzung von statischen Magnetfeldern und EMF zur Behandlung von Schmerzen oder, in der Orthopädie, zur Knochenheilung präsentiert. Die Evaluierung der therapeutischen Effekte ist allerdings noch nicht weit fortgeschritten. Obwohl vielversprechende Ergebnisse vorliegen, diese sind bisher nicht statistisch abgesichert und vieles steckt noch quasi in den Kinderschuhen.

Vortragsreihe: In vivo Studien – Tier (Session 11)

Gatta (Rom, I) untersuchte die Auswirkung von Mobilfunkstrahlung nach dem GSM-900 Standard auf Zellen des Immunsystems von Mäusen (Lymphozyten). Er konnte bei einer Bestrahlung (1W/kg bzw. 2W/kg) von 2 Stunden/Tag über bis zu vier Wochen keinen messbaren Effekt auf

die Häufigkeit des Auftretens aktivierter Zellen des Immunsystems und deren Subpopulationen, auf deren Teilungsrate und auf die Ausschüttung immunaktivierender Substanzen beobachten.

Ungeborenes Leben stand im Mittelpunkt der Untersuchungen von Buschmann (Hannover, D). Trächtige Ratten, wurden von Beginn der Befruchtung bis zum 20. Tag der Schwangerschaft einer GSM-Mobilfunkstrahlung ausgesetzt. Eine Exposition bei einer Trägerfrequenz von 890 MHz und Modulationsfrequenzen von 2, 8, 217 und 1733 Hz und einer Leistungsdichte von 60W/m^2 innerhalb des Käfigs führte weder zu Veränderungen bei den Muttertieren noch an den sich entwickelnden Jungtieren. Sporadisch auftretende, geringfügige Anomalitäten traten in der Kontrollgruppe in gleicher Häufigkeit auf wie in der Testgruppe.

Auch bei erwachsenen Tieren, so eine Studie von La Regina (St. Louis, USA), die von der sechsten Lebenswoche bis zum Alter von zwei Jahren EMF (835,62 MHz FMCW und 847,74 MHz CDMA) ausgesetzt wurden konnte kein Einfluss auf die spontane Entwicklung von Tumoren, die Überlebensrate oder das Körpergewicht der Tiere ausgemacht werden.

Untersuchungen an Mäusen unter Einfluss eines variablen ($0,5\text{--}77\text{ }\mu\text{T}$) Magnetfeldes von 50 Hz zeigten eine signifikante Reduktion der Anzahl von Zellen des Immunsystems. De Jager (Bloemfontein, ZA) beobachtete eine Verringerung der Gesamtzahl von Lymphozyten bei Mäusen nach 14-wöchiger wie auch nach 12-monatiger Feldexposition. Auch die Zellteilungsrate von B- und T-Zellen war im Vergleich zur Kontrollgruppe erniedrigt. Diese Studie bestätigte somit eine frühere Untersuchung von Mevissen.

Seaman (Brooks, USA) untersuchte Bewegungsmuster und Schreckhaftigkeit von Ratten nach der Exposition mit EMF von 1,25 GHz bei einer Ganzkörper-SAR von $0,6\text{W/kg}$, konnte jedoch keine Veränderungen feststellen. Die Expositionsdauer

in dieser Studie betrug allerdings nur 30 Minuten.

Eine Arbeit von Shirai (Nagoya, J) untersuchte, ob es durch den Einfluss von Mobilfunkstrahlung zu einer Förderung des Wachstums von Tumoren kommen kann. In Experimenten an Rattenleber und der Haut von Mäusen, beide mit künstlich hervorgerufenen Tumoren, konnte er nach sechswöchiger Einwirkung von Mobilfunkstrahlung nach dem japanischen PDC-Standard bei 900 MHz oder 1,5 GHz und einem SAR-Wert von maximal 2 W/kg (1,5 h/Tag; 5 Tage/Woche) keinerlei Verstärkung des Tumorwachstums im Vergleich zu unbehandelten Tieren beobachten. In einer ähnlichen Untersuchung beobachtete Adey (Loma Linda, USA) sogar eine Reduktion des Wachstums von Hirntumoren an einem Rattenmodell. Adey arbeitete mit Mobilfunkstrahlung entsprechend dem amerikanischen NADC-Standard (836 MHz) und exponierte Ratten etwa 2 Jahre lang bei einer maximalen SAR von 1,0-1,6 W/kg (2h/Tag; 4 Tage/Woche). Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit ergibt sich aus der Beachtung der Modulation der Trägerfrequenz. Während o.g. Ergebnisse mit einer 50 Hz TMDA (time division multiple access) Modulation erhalten wurden, konnte Adey bei einer anderen Modulationsart keine Tumorreduktion mehr beobachten.

Dass sich Einflüsse von Mobilfunkstrahlung (hier: GSM 900 MHz, 0,2 W/kg über 48h) mit Hilfe von Zellkulturen erfassen und verfolgen lassen, konnte ein Beitrag LaGroye (Pessac, F) verdeutlichen. Die von ihr untersuchten C6-Glioma Zellkulturen änderten ihre Reaktion auf die Zugabe eines Entzündungsmediators (LPS) je nachdem, ob sie bestrahlt wurden oder nicht. Unter Exposition mit dem 900 MHz Signal ging die Ausschüttung des Enzyms „NOS2,“ welches in entzündlichen Prozessen eine Rolle spielt, um etwa 40% zurück. Möglicherweise kann das Mobilfunksignal somit den, in dieser Studie künstlich hervorgerufenen, Entzündungsprozess modifizieren.

Das REFLEX-Programm (Session 14)

Eine gesonderte Session befasst sich mit aktuellen Ergebnissen aus dem REFLEX (*Risk evaluation of potential environmental hazards from low energy electromagnetic field exposure using sensitive in vitro methods*) -Projekt, einem von der EU geförderten Programm zur Untersuchung der potentiellen Gefahren von EMF, an dem insgesamt zwölf Forschungsgruppen beteiligt sind. Durch möglichst genaue Abstimmung dieser Gruppen untereinander und die Definition von experimentellen Standards und Messanweisungen soll in diesem Projekt die größten Schwierigkeiten bei der Erforschung der Auswirkungen von EMF auf biologische Systeme umgangen werden: Der extrem großen Varianzmöglichkeiten im experimentellen Aufbau, die oft nicht gegebene Validierung des biologischen Systems oder auch die Problematik der Quantifizierung der Strahlungsexposition in der Probe.

In dieser Session beschrieb Rüdiger (Wien, A) den Einfluss elektromagnetischer Felder auf Strangbrüche von DNS-Molekülen. Er konnte ein verstärktes Auftreten von Einzel- wie auch von Doppelstrangbrüchen bei 50 Hz Wechselfeldern ab 70 µT in humanen Fibroblastenzellen jedoch nicht in Lymphozyten feststellen. Diese DNS-Schäden führten allerdings nicht zu einer verminderten Lebensfähigkeit der Zellen. Als besonders interessanten Aspekt konnte er zeigen, dass die Häufigkeit der DNS-Schäden nicht nur von Feldstärke und Expositionsdauer, sondern auch von der Frequenz, mit der er das Feld ein- und ausschaltete, abhängig waren.

Auch Schlatterer (Berlin, D) konnte an HL60 Zellkulturen, die bei 1800 MHz (SAR 1-1,3 W/kg) über 24h bestrahlt wurden eine Häufung von DNS-Strangbrüchen feststellen. Leszczynski (Helsinki, SF) betonte in dieser Session nochmals die Möglichkeit, dass Mobilfunkstrahlung eine Auswirkung auf die Gen- und Proteinexpression haben könnte, ohne allerdings in

seinen Untersuchungen einzelne Gene oder Proteine zu charakterisieren.

LaGroye (Bordeaux, F) fasste die Ergebnisse von Mitgliedern des REFLEX-Consortiums zusammen, die sich mit der Apoptose, dem kontrollierten Zelltod befassten. Die Apoptose schützt den Organismus vor Schäden durch entartete Zellen also beispielsweise vor neurodegenerativen Erkrankungen oder Krebs. Keine der Untersuchungen konnte jedoch einen Einfluss von EMF auf den Apoptoseprozess bei menschlichen Zellkulturen feststellen.

In seiner Zusammenfassung betonte Adlkofer (München, D) die Notwendigkeit, Forschungsvorhaben mit hoher Priorität auf die Untersuchung molekularer, subzellulärer und zellulärer Effekte durch EMF zu konzentrieren, um ein besseres Verständnis der Relevanz von EMF für Erkrankungen des Organismus zu entwickeln.

Mary Ellen o'Connor-Gedächtnisvortragsreihe/ Studenten-Vorträge

Neben vielen Untersuchungen, die sich mit nichtthermischen Auswirkungen durch EMF auseinandersetzen, präsentierte Mausset (Montpellier, F) eine Arbeit, bei der hochenergetische Felder mit SAR von 4-32 W/kg eingesetzt wurden. Nach kurzer Exposition von Ratten (15 min bis zu 2 h mit EMF von 900 MHz) konnte Mausset deutliche Veränderungen der Konzentration von Neurotransmittern, den Botenstoffen der Nerven, wie auch an Gliazellen, einer im Gehirn sehr zahlreichen Zellspezies, nachweisen. Allerdings ist bei diesen Experimenten die Möglichkeit nicht auszuschließen, dass die beobachteten Veränderungen aufgrund der Erwärmung des Rattenhirns auftraten.

Die Effekte von EMF auf biologische Systeme werden üblicherweise in die Kategorien thermische- und nichtthermische Effekte unterteilt. Dabei geht man davon aus, dass Veränderungen des Systems, die mit einer Geweberwärmung einhergehen, typischerweise durch die Erwärmung als

solche hervorgerufen werden. In diesem Zusammenhang stellte Kalns (Brooks, USA) auf seinen Postern interessante Studien vor. Er verglich die Proteinexpressionsmuster von Ratten, die Millimeterwellen (35 GHz, 90 mW/cm²) oder einer Infrarotstrahlung ausgesetzt waren. Dabei führte sowohl die Infrarotstrahlung als auch die Feldexposition zu einer Erwärmung der Ratten, wobei die Erwärmung jedoch nicht homogen auftrat. Unter ca. 40 hochregulierten Proteinen, konnte er nach bis zu 72-stündiger Exposition 5 Proteine ausmachen, die ausschließlich durch Millimeterwellen, aber nicht durch die Wärmestrahlung hochreguliert wurden.

Zur computergestützten Simulation thermischer Effekte stellte Prelewicz (Rockville, USA) den Prototypen eines Programms vor, das die anatomischen Gegebenheiten realistisch modelliert und zu dosimetrischen Untersuchungen von RF-Feldern genutzt werden soll.

Plenarsitzung: Epidemiologie

In der Session zur Epidemiologie - von Erkrankungen, die im Zusammenhang mit elektrischen oder magnetischen Feldern stehen könnten - hatte keiner der Vortragenden eine derartige Relation nachweisen können. Die Beiträge umfassten dabei verschiedene Studien die sich mit dem Krebsrisiko auseinandersetzen, sowie auch Schlafstörungen und Depressionen.

Plenarsitzung: Mechanismen von Wechselwirkungen

Die letzte Vortragsreihe beschäftigte sich mit den Mechanismen der Wechselwirkung zwischen EMF und biologischen Systemen. In seinem Beitrag über die Möglichkeiten der Strahlungsgefährdung durch kabellose Geräte der sogenannten dritten Generation stellte Swicord (Plantation, USA) heraus, dass zu einer Risikobeurteilung zwingend eine Aufdeckung der physikalischen Mechanismen, welche eine Reaktion auf biologischer Ebene hervorrufen, erfolgen muss. Bisherige Ansätze sind aus-

schließlich in der Lage, thermische und neurostimulierende Effekte zu erklären.

Dem breiten Feld der nichtthermischen Wirkungen muss jedoch zur Erklärung gesundheitsschädigender Effekte unbedingt Beachtung geschenkt werden. Beispiele für mögliche, bio-physikalische Wechselwirkungen wurden in den folgenden Vorträgen erörtert. Schiavo (Rom, I) befasste sich mit elektrischen Dipolen, wie sie in biologischen Membranen zu finden sind. Er erläuterte dabei, dass mittels sogenannter Lamor-Präzession eine Kraftübertragung vom EM-Feld auf die Dipolmoleküle stattfinden kann. Iwasaka (Tokio, J) beschrieb die Verschiebung von Elektronen innerhalb eines Enzyms unter Einfluss von EMF. Indem die Ladungsverschiebung zu einer Änderung der räumlichen Struktur des Enzyms führt könnte die von dem Enzym katalysierte Reaktion verändert werden. Allerdings sind extrem hohen Magnetfeldstärken (8T) notwendig, um in ausreichendem Maße eine derart starke Ladungsverschiebung hervorzurufen. Die abschließenden Vorträge setzten sich mit thermodynamischen Berechnungen der Feldwirkungen auseinander. Diese sehr komplexen Ansätze erläutern jedoch, das zumindest aus physikalischer Sicht die Beeinflussung biologischer Vorgänge nicht absolut auszuschließen ist.

Als erstmaliger Besucher der BEMS-Jahrestagung möchte ich die hier präsentierte, große Methodenvielfalt positiv herausstellen. Die Tagung ermöglichte einen Einblick in die weltweit unternommenen Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der Wechselwirkungen von EMF und biologischen Systemen. Hin und wieder verloren sich einige Präsentation in experimentellen Details, doch ist dies angesichts der Komplexität der Fragestellungen sicherlich nicht immer vermeidbar. Oft erscheint aber auch der Anspruch, mittels eines einzelnen experimentellen Ansatzes einen klaren Beweis eines gesundheitsrelevanten Effekts zu führen, recht hoch gegriffen. Daher scheint besonders die möglichst de-

taillierte Aufklärung der molekularen Wechselwirkungen zwischen Feld und Biologie von großem Interesse. Wenn man verstanden hat, welche Veränderungen biochemischer und genetischer Vorgänge in einer einzelnen Zelle durch EMF hervorgerufen werden können, fällt sicherlich auch die methodische Übertragung auf einen Gesamtorganismus leichter. Auf diesem Wege wird eine ins molekulare Detail gehende Grundlagenforschung einen zentralen Beitrag liefern, gesicherte Daten im Hinblick auf die Risikoabschätzung zu gewinnen.

Dr. med. Helmut Franke, Universität Münster, Institut für Neurochemie II

