

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

24. Jahrestagung der Bioelectromagn

Bericht von Roland Glaser

Die Beiträge der Tagung waren vornehmlich auf zwei Richtungen orientiert: einmal auf den Schutz der Umwelt vor technischen Feldern, und zum anderen auf die Anwendung dieser Felder in Therapie und Diagnostik. Aspekte der Nutzung elektrischer und magnetischer Felder in der Biotechnologie, ein zweifellos ebenfalls zukunftsträchtiges Gebiet, stand nur in einigen Arbeiten aus Japan im Zentrum des Interesses. Der Magnetsinn der Tiere spielte auf diesem Kongress keine Rolle und wurde nur hin und wieder am Rande erwähnt. Sicherlich nicht unbeeinflusst durch einige Sponsoren, vielleicht aber auch einem allgemeinen Trend folgend, überwog diesmal etwas die medizinische Anwendung. Dies drückte sich schon in der Wahl der Themen der Plenarvorträge aus. Von vier Themenkreisen waren zwei, nämlich „Transkraniale Magnetstimulation“, und „Schmerz – Ätiologie und Behandlung“ diesem Problembereich gewidmet.

Die thematische Gliederung der etwa 110 Kurzvorträge und 130 Poster, sowie ihre Zuordnung zu den 12 geladenen Plenarvorträgen fiel offenbar selbst den Organisatoren schwer, gibt es doch mehrere sich überlagernde Einteilungsprinzipien. Nicht immer ist ein Beitrag der Grundlagenforschung auf dem *in-vitro*- oder *in-vivo*-Niveau der Strahlenschutz-Problematik, oder der medizinischen Richtung zuzuordnen; auch ist unklar, wie sich „medizinische Applikation“, „neue Therapien“, „Therapie“ oder „Diagnostik“ voneinander unterscheiden lassen, will man die Beiträge in diese von den Organisatoren vorgesehenen Kategorien einordnen. Zusätzlich gab es noch Sitzungen, welche nicht thematischen, sondern organisatorischen Ordnungsprinzipien folgten, wie z.B. die Präsentationen des REFLEX-Programms, oder die zwei „Mary Ellen O'Connor Memorial Student Sessions“.

Diese Schwierigkeit, die Beiträge zu systematisieren, reflektiert sich notgedrungen auch in dem vorliegenden Bericht. Es konnte leider kein vorgegebenes Gliederungsprinzip übernommen werden. Hinzu kommt natürlich der Umstand, dass der Berichtstatter trotz des Versuches des Springens zwischen den Sektionen nur immer eine der zwei Parallel-Veranstaltungen besuchen konnte. So wird der Bericht notgedrungen thematisch eingengt. Die Beiträge zu technischen Aspekten der Dosi-

etic Society (BEMS)

metrie, z.B. sind hier ausgeklammert, ebenso wie die Berichte zum REFLEX-Programm.

Medizinische Anwendungen

Mit zwei Plenar-Sitzungen, zwei Sektionen und Postern war der Anwendung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder in Diagnostik und Therapie diesmal viel Platz eingeräumt. Das erste Hauptthema mit drei Plenarvorträgen betraf die transkraniale Magnetstimulation (TMS).

Shoogo Ueno, der Präsident der Magnetic Society Japan und Autor zahlreicher Publikationen zu diesem Thema erläuterte eingangs die physikalischen und biophysikalischen Grundlagen dieser Methode, bei welcher Wirbelströme durch kurze (0,1-0,2ms), z.T. periodische Magnetpulse mit Flussdichten von mehreren Tesla induziert, und dadurch lokale Reizungen bestimmter Hirnbereiche erreicht werden. Durch Konstruktion geeigneter Spulen, zumeist Doppelspulen, kann der Erregungsbereich im Gehirn bis auf Volumina mit einem Durchmesser von 5mm eingeengt werden. Neben dieser räumlichen Fokussierung durch die Feldverteilung, gibt es noch eine Erregungs-Spezifität, bedingt durch Form und Orientierung der Neuronen in den verschiedenen Hirnbereichen und durch deren Kommunikation untereinander. Als nichtinvasive Technik der Nervenstimula-

tion mit einem hohen Grad an Lokalisierbarkeit eröffnet die TMS somit neue Möglichkeiten sowohl in der neurologischen Forschung, als auch in der Therapie. Der Referent stellte als Beispiel neurophysiologischer Auswirkungen Untersuchungen über den Einfluss der TMS auf das assoziative Gedächtnis von Probanden vor. In einer Weiterführung dieser Methode als „repetitive“ TMS (rTMS) werden Pulse in einer Folge von etwa 25 pro Sekunde verwendet. Man hofft damit nicht nur neuronale Stimulation zu erreichen, sondern zusätzlich sogar den Prozess der Nerven-Regeneration anregen zu können. Dies gründet sich auf die Vorstellung, wonach durch das magnetische Feld direkt, oder indirekt durch die induzierten Wirbelströme, Prozesse der Gen-Expression in den Nervenzellen induziert werden könnten. Vorversuche in dieser Richtung an Ratten haben bereits begonnen.

Der Vortrag wurde durch eine Reihe von Postern aus dem Labor des Referenten unterstützt. Dies vermittelte einen guten Einblick in die an der Universität Tokio verfolgte Konzeption. In den Studenten-Postern P-12 (Sekino et al.) und P-13 (Matsumoto et al.) schilderten die Autoren dosimetrische Untersuchungen, sowie Leitfähigkeits-Verteilungen im Rattenhirn. In den Postern P-21 (Iwasaka and Ueno), P-18 (Eguchi et al.) und P-64 (Takeuchi et al.) wurde der Einfluss starker Magnetfelder



(bis 14T) auf Aktin-Komponenten der Zellen, auf die Nervenerregung bzw. auf Orientierungsphänomene in einem Fibrin-Gel dargestellt. Das Poster P-22 (Iwasaka and Ueno) beschrieb die Wirkung starker Magnetfeld-Gradienten, auf die Form diamagnetischer Körper, z.B. biologischer Gewebe. Die Möglichkeit, den Prozess der Regeneration verletzter Neuronen unmittelbar durch gepulste elektrische Felder (10Hz, 2,2kV/m) zu beeinflussen, wurde in einer in-vitro-Studie im Poster P-84 (Ogiue-Ikeda et al.) demonstriert. Demnach ist die TMS, und insbesondere die rTMS nicht nur als Methode lokaler Nervenstimulation gedacht, vielmehr wird in dieser Forschungsgruppe auch der länger dauernden biologischen Wirkung sowohl der Magnetfelder selbst, als auch der induzierten Stromstöße Beachtung geschenkt.

Der zweite Plenarvortrag zur transkraniellen magnetischen Stimulation wurde von J.C. Rothwell, aus dem Institute of Neurology, London gehalten. Auch hier ging es sowohl um TMS als auch rTMS, wobei stärker der neurologische und psychologische Aspekt der Anwendung dieser Methode im Vordergrund stand. Was wissen wir tatsächlich über die biologische Wirkung dieser neuen, nicht-invasiven Methode? Lediglich die Stimulation optischer oder motorischer Zentren im Gehirn kann der Proband unmittelbar spüren: ein Licht-Empfinden, ein Zucken der Glieder. Reaktionen anderer Hirnbereiche entziehen sich der unmittelbaren Wahrnehmung. Verfahren, wie die Protonen-Emissions-Tomographie (PET), die funktionsgebundene Kern-Spin-Tomographie (fMRI), oder auch das EEG sind geeignet auch hierüber Aufschlüsse zu vermitteln. Besonders hervorgehoben und in Beispielen demonstriert, wurde die Rolle der PET, die es erlaubt, nicht nur Reaktionen am Reizort selbst, sondern auch indirekte Effekte an entfernteren Stellen im Gehirn nachzuweisen. Es sind jedoch nicht nur ortsauflösende Verfahren, sondern auch Echtzeit-Messungen gefragt, die Auskunft

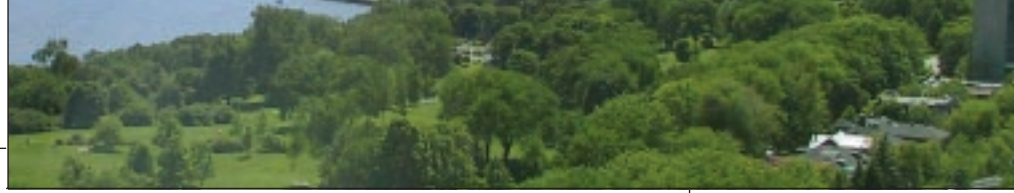
geben können über den Zeitverlauf der biologischen Reaktion im Millisekunden-Maßstab nach der Reizung. Wie z.B. über den „virtual lesion“-Effekt, einer kurzzeitigen Unterbrechung kortikaler Aktivitäten nach dem Reiz. Dazu eignet sich z.B. das EEG. Der Vortrag vermittelte die Erkenntnis, dass trotz des biophysikalisch prinzipiell plausiblen Mechanismus, der den Effekten der TMS zugrunde liegt, viele Vorgänge die dabei ablaufen noch unklar sind, und dass der Pferdefuß der Methode, d.h. mögliche unerwünschte Nebeneffekte, durchaus noch nicht voll erkannt sind, wenngleich sich der klinische Einsatz der TMS in der neurologischen Praxis bereits vielfach bewährt hat.

E. Wassermann vom NIH, Bethesda beschloss diesen Plenarteil mit einem Vortrag über „Transcranial magnetic stimulation and functional imaging“. Dieser mehr methodisch ausgerichtete Beitrag begann mit der Frage nach Konstruktion von Spulensystemen, um die Fokussierung des Magnetfeldes der TMS zu optimieren, wobei insbesondere bei der Berechnung der entstehenden Wirbelströme die Unterschiede in der Leitfähigkeit verschiedener Hirn-Areale zu beachten sind. Das Resultat dieser Bemühungen wird durch „funktional imaging“ kontrolliert. Darunter versteht Wassermann die bildliche Darstellung von Hirnbezirken entsprechend ihrer physiologischen Aktivität. Diese drückt sich in ihrer Durchblutungsaktivität aus und ist, wie bereits von den Vorrednern vermerkt, durch Protonen-Emissions-Tomographie (PET) mit Hilfe des Sauerstoff-Isotops ^{15}O (als H_2^{15}O appliziert) durchführbar. Auch Wassermann konnte nachweisen, dass durch TMS zum Teil Hirnbereiche aktiviert werden, die weit entfernt von dem Fokus des Magnetfeld-Impulses liegen.

Der Plenarteil des zweiten Vormittags war ebenfalls einem neurologischen Thema gewidmet: „Schmerz – Ätiologie und Behandlung“. R.S. Menon vom Laboratory for Functional MR Research, The John P. Robarts Research Institute (Canada) trug

eine Arbeit vor, die mit anderen Autoren des gleichen Instituts, sowie mit Mitarbeitern des Center for Functional MRI of the Brain, University of Oxford (UK) erstellt war. Es ging um die Anwendung der funktionellen Kern-Spin-Tomographie (fMRI) zur Darstellung der Hirnbereiche, in denen die Schmerzempfindung lokalisiert ist. Die Methode beruht darauf, dass Hämoglobin je nach Sauerstoffbeladung von diamagnetisch (oxygenisiert) zu paramagnetisch (desoxygenisiert) wechselt. Da sich im aktivierten Zustand die Durchblutung eines Hirnareals deutlich erhöht, ist der Nachweis auf diese Weise mit einer räumlichen Auflösung im Millimeter- oder sogar Submillimeter-Bereich möglich. Vergleiche von fMRI-Messungen mit denen der PET-Methode zeigten, dass keine Artefakte durch das 4T-Magnetfeld des Kernspintomographen, bzw. durch das dabei verwendete Gradientenfeld von 40mT/m auftreten. Der Referent berichtete über Experimente an Probanden, wobei die Lokalisation von chronischem Kopfschmerz ebenso untersucht wurde, wie akutes Schmerzempfinden durch thermische oder andere periphere Reize. Im Falle chronischer Kopfschmerzen ist die subjektive Lokalisation des Schmerzes nahezu, aber nicht vollständig mit der objektiv lokalisierbaren identisch. Im Falle thermischer Reizung ist die Feststellung interessant, dass die thermische Schmerz-Empfindung andere Bereiche des Gehirns aktiviert, als der thermische Reiz selbst. Die Autoren hoffen aus der Erkenntnis über die Lokalisierung des Schmerzempfindens, und dessen pharmakologische Beeinflussung sowie über Messungen lokaler Durchblutungsänderungen im Gehirn, Hinweise auf neue therapeutische Verfahren zu erhalten.

Der zweite Vortrag zu dieser Thematik wurde von S. Lauterbacher von der Universität Bamberg gehalten. Er befasste sich mit der Rolle der Schmerzempfindung in der Ätiologie des chronischen Schmerzes und dessen Geschlechts-Spezifität aus medizinischer Sicht. Nach einer Einführung



in die Methoden, Schmerzempfindung zu quantifizieren, wurden die verschiedenen Hirnregionen vorgestellt, die für die Schmerzempfindungen verantwortlich sind. Auch hier wurden PET und fMRI als Methoden der Wahl zur Untersuchung dieser Prozesse genannt. Es zeigte sich, dass das Aktivitäts-Muster bei akutem Muskelschmerz ein anderes ist, als bei chronischen Kopfschmerzen. Frauen sind offenbar deutlich anfälliger gegenüber chronischen Schmerzen als Männer.

Die ersten beiden Vorträge zum Thema Schmerz, die abgesehen von der Methodik des MRI physiologisch orientiert, und ohne direkten Bezug zur eigentlichen Thematik der BEMS waren, sollten wohl als Einstimmung dienen, in das eigentliche Thema, nämlich die Schmerzbekämpfung durch Magnetfelder. Dies behandelte A.W. Thomas vom Lawson Health Research Institute (London, Canada) in einem dritten Vortrag des zweiten Plenarteils, der gemeinsam mit F. S. Thomas von der University of Western Ontario (Canada) erarbeitet war. Leider empfand man dies nach den qualitativ sehr hochwertigen vorausgegangenen Beiträgen, als ein Abgleiten in den Bereich des Spekulativen. Sicher, Schmerzbehandlung ist ein aktuelles und die Bevölkerung ebenso wie die Krankenkassen belastendes Thema; sicher sind die pharmazeutischen Maßnahmen nicht immer wirkungsvoll und noch dazu durch viele Nebenwirkungen belastet, doch als Alternative dazu eine Therapie mit extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern oder statischen Magneten durchzuführen, konnte vom Referenten nicht überzeugend vermittelt werden. Er verwies auf das Problem, die richtige Frequenz der Pulsfolge zu finden, sprach von der Licht-Abhängigkeit des Therapie-Erfolges mit Magnetfeldern und unterstrich die Bedeutung von Magnetfeldgradienten bei der Behandlung mit statischen Magneten, etwa der Firma Magnabloc™. Ordnungsgemäße und somit überzeugende klinische Studien mit genügend hoher Patientenzahl konnte der Re-

ferent jedoch nicht vorweisen. Auch ist es schwierig, Doppelblindversuche mit statischen Magneten durchzuführen, wo doch die magnetischen Eigenschaft eines Applikators vom Patienten selbst leicht überprüft werden kann. Auf den Placebo-Effekt, als nicht zu vernachlässigenden Umstand, ging der Referent ausdrücklich ein.

Betrachtet man die Liste der Sponsoren der Tagung, so fällt die hohe Beteiligung von Firmen auf, welche Geräte zur Elektrostimulation, zur Magnetotherapie, zur Elektro-Orthopädie etc. herstellen. Dies mag erklären, warum in Spezial-Symposien 16 Beiträge zu „neue Therapien“ (emerging therapies) und fünf Vorträge zu „medizinischer Anwendung“ (medical applications) vorgestellt wurden. Einige Beiträge zu dieser Thematik waren noch zusätzlich in anderen Sektionen untergebracht (1-1, 3-3, 5-1, 5-2, 5-3). Im Gegensatz zu dieser starken Präsenz im Vortragsprogramm waren nur fünf Poster diesen Themen gewidmet.

Das Spektrum medizinischer Applikationen die in diesen Sektionen vorgestellt wurden, war breit, sowohl was die physikalischen Parameter betraf (statische Magnetfelder von wenigen Milli-Tesla bis 10T-Stärke, gepulste Magnetfelder, Wechselfelder von ELF bis in den MHz-Bereich, elektrostatische Felder), als auch bezüglich der medizinischen Indikationen (Schmerz-, Krebs-Therapie, Vermeidung von Haarausfall, Stimulation der Knochenbildung).

Kotani et al. (Japan) (8-7) berichteten über die Langzeitwirkung (60 Stunden) eines 8T-Magnetfeldes auf Proliferation, Orientierung, Differenzierung und nachfolgende Matrix- bzw. Knochen- Bildung von Osteoblasten. In Hinblick auf die orientierende Wirkung starker Felder und Feldgradienten auf diamagnetische molekulare Strukturen mit einem hohen Grad an Orientierung und diamagnetischer Anisotropie ist eine solche Reaktion verständlich. Hier basierte der Versuch einer möglichen medizinischen Applikation auf Forschungen mit einem klaren biophysikalisch

nachvollziehbaren Konzept, ein Umstand, den man leider bei den meisten anderen Beiträgen in der Sektion „neue Therapien“ vermisste.

Man mochte den im Vortrag 8-1 von R. Cadossi (Italien) geäußerten Vorstellungen gern zustimmen, wonach die physikalischen Therapiemethoden im Gegensatz zu chemischen Verfahren besser auf bestimmte Körperregionen lokalisierbar sind. Allerdings fehlen bisher weitgehend überzeugende Erfolgsberichte. Leider hat Cadossi absolut recht mit der Feststellung, dass die klinische Anwendung der Felder der entsprechenden Grundlagenforschung weit vorausseilt. Diese Aussage umschreibt jedoch vornehm den folgenden Missstand: Es werden Geräte produziert, verkauft und klinisch angewendet, deren Wirkungsmechanismus bisher in keiner Weise durch Forschung untermauert, und deren Einsatz, so muss man leider hinzufügen, auch nicht durch ordnungsgemäße klinische Tests gerechtfertigt ist.

Besonders deutlich wurde die Oberflächlichkeit klinischer Tests dieser Methoden im Vortrag von Meakin et al. (USA), der eine „Pilotstudie“ vorstellte zur Anwendung gepulster elektrischer Felder (8Hz, 5V/cm in Luft) zur Vermeidung von Haarausfall bei Frauen nach Chemotherapie von Mamakarzinom. Man testete das Verfahren an der Menge ausgekämmter Haare von 14 Patientinnen. Auf Kontrollen wurde verzichtet. Man verglich vielmehr das Resultat der Behandlung und die Photos der Frisuren der befeldeten Frauen mit statistischen Angaben und Bildern aus anderen Publikationen über den Haarausfall nach Chemotherapie von Mamakarzinom. Das entsprechende Gerät, mit der Firmenbezeichnung „Electrotrichogenesis“ (ETG) wird jedoch bereits produziert und vertrieben. Man hatte diese Methode übrigens bereits in einem Poster auf der 22. BEMS-Tagung im Jahre 2000 in München angesprochen. Wird hier der Kummer kranker Frauen in klingende Münze verwandelt? J.A. Salvatore (USA) plädierte in seinem

Beitrag (10-2) über die Therapie von Lungenkrebs mit statischen Magneten dafür, die elektromagnetische Therapie nicht unter die Rubrik „alternative“ Methoden zu rechnen, da ihnen doch schließlich eine ordnungsgemäße Physik zugrunde läge. Man solle lieber das Wort „adjuvand“ also: „unterstützend“ wählen. Dies komme ihrem Einsatzspektrum näher. „Adjuvand“ könnte sie z.B. sein in Kombination mit chemotherapeutischen Methoden. Zunächst allerdings, konnte der Autor nur nachweisen, dass durch den Einsatz der Magneten keine toxischen Nebeneffekte auftreten.

Nach seinem Vortrag über Untersuchungen zur Schmerzbekämpfung mit statischen Magneten, die Brown et al. (8-3) als „double-blind pilot clinical study“ in der Überschrift auswiesen, und die sich auf 15 plazebo- und 17 aktiv behandelte Patienten bezogen, mußte der Referent auf Nachfrage in der Diskussion zugeben, dass selbst von „blind“, geschweige denn „double-blind“ nicht die Rede sein konnte.

In diesem Zusammenhang wurden ausführlich Möglichkeiten diskutiert, echte Doppel-blind-Versuche mit statischen Magneten durchzuführen, d.h. die Möglichkeit auszuschalten, dass der Patient selbst den Magnet vom nicht-magnetischen Metall unterscheiden kann. Bisher konnten McLean (8-5) lediglich feststellen, dass der Magnet-Effekt etwas stärker ist als der ebenfalls deutliche Placebo-Effekt mit nicht magnetischen Eisenteilen. Ob das daran liegt, dass der Patient stärker an den Effekt glaubt, wenn er sich von den magnetischen Eigenschaften des ihm applizierten „Magneten“ selbst überzeugt hat? Es wurde empfohlen, nicht unmagnetische Metallteile als Placebo zu verwenden, sondern Magnete, deren Flussdichte unwirksam gering ist. Wo liegt aber diese Schwelle?

Bezeichnend für diesen Themenbereich war übrigens folgender Kreisschluss: Referenten, die, wenn auch nicht sehr überzeugend, versuchten den Mechanismus



therapeutischer Wirkungen zu erklären (Brown et al. 3-8, Siskin et al. 8-6, Pilla 10-1) postulierten, es müsse ja einen Mechanismus geben, da der klinische Erfolg bereits belegt sei. Umgekehrt stützten sich die Kliniker mit großer Selbstverständlichkeit auf angeblich wissenschaftlich längst nachgewiesenen Elementar-Reaktionen, die folglich therapeutische Wirkung nach sich ziehen müssten. Es wird der Einfluss statischer Magnetfelder im Millitesla-Bereich auf zelluläre Reaktionen aber immer nur behauptet, nie überzeugend nachgewiesen. McLean et al. (8-5) führten ihren Vortrag zur Schmerzbehandlung mit Magneten der Firma Magnabloc™ mit der Behauptung ein, es sei nachgewiesen, dass Magnetfelder dieser Art die Na-Kanäle der Nerven blockieren würden. (Träfe dies zu, so wäre dies die eleganteste Methode für eine Lokal-Anästhesie!)

Im Unterschied zu den beiden Sessions 8 und 10 zum Thema „neue Therapien“, enthielt die Session 12 „medizinische Anwendungen“, wenn auch nur vier, so doch substantiell gewichtigere Beiträge. Zwei Vorträge bezogen sich auf Therapie mit hochfrequenten Feldern: Radzievsky et al. (12-1) referierten über Schmerzbehandlung durch Mehrfachbestrahlung mit Mikrowellen (61,22GHz) an Hand von Experimenten mit Mäusen. Bernardi et al. (12-3) stellten ein Antenne zur Applikation von 2,45GHz-Feldern vor, die als Katheder für Befeldung bei minimal-invasiver Hyperthermie-Therapie einsetzbar ist. Im Beitrag 12-2 (Plank et al) wurde die Möglichkeit demonstriert, Gentransfer mit Hilfe paramagnetischer Partikel effektiver zu gestalten. Der Beitrag 12-4 (Ryan et al.) zeigte überzeugend geringe, jedoch signifikante Effekte der Muskelentwicklung bei Kindern mit angeborener Myelomeningocele oder anderen neurodegenerativen Erkrankungen nach nächtlicher Behandlung mit transkutaner elektrischer Reizung (TENS).

Wie bereits vermerkt, gab es auch in anderen Sektionen medizinisch orientierte

Beiträge. So räumten Logani et al. (5-1) mit der Vorstellung auf, die Befeldung mit Millimeter-Wellen (44,2GHz) würden die Immun-Reaktionen der T-Zellen vor schädlichen Einflüssen von Kanzerostatika (Cyclophosphamid) schützen. Auch der Vortrag von Gordienko et al. (5-3) bezog sich auf Wirkungsmechanismen bei der Millimeter-Wellen-Therapie. Es konnte nachgewiesen werden, dass der schmerzlindernde Einfluss der Befeldung mit 61,22GHz auf die Freisetzung von endogenen Opioiden zurückzuführen sei, wobei sowohl die Delta-1- als auch die Kappa-Rezeptoren ansprechen. Dieser Vortrag bezog sich auf eine neuere Publikation dieser Gruppe (Radzievsky et al., Life Sciences 68, 2001, 1143).

Ein Beitrag von Okano et al. (5-2) behandelte sich auf die viel diskutierte Wirkung statischer Magnetfelder auf die Blutzirkulation. Diese Autoren hatten in den letzten Jahren bereits Tierversuche mit unterschiedlichen Ergebnissen dazu publiziert (Okano et al.: Bioelectromagnetics 20, 1999, 161; Okano and Ohkubo: Bioelectromagnetics 22, 2001, 408; Xu et al.: Bioelectrochemistry 53, 2001 127; Gmitrov et al.: Bioelectromagnetics 23, 2002, 224). Auch in den hier vorgestellten Versuchen an Kaninchen konnte nur ein schwacher blutdruck-senkender Einfluss eines langdauernden (12 Wochen) Magnetfeldeinflusses (10 - 25mT) gefunden werden, dessen Signifikanz nicht überzeugte.

Überblickt man die auf der Tagung vorgetragenen Erfolge medizinischer Anwendung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder, so sind insbesondere auf dem Bereich der bildgebenden Methoden, sowie der Magnetstimulation deutliche Fortschritte zu verzeichnen, die auf solidem wissenschaftlichen Fundament ruhen. Auch die vorwiegend in Japan durchgeführten Versuche mit extrem hohen Feldstärken sind interessant und weiterführend, obgleich rein technisch die Anwendung solcher Felder in der Therapie noch in der Zukunft liegen mag. Un-

zweifelhaft, und in ihrer Anwendung sicher längst noch nicht ausgeschöpft sind die vielfältigen Anwendungen der Elektrostimulation, und natürlich auch der Hyperthermie. Die seit langem gehegte Hoffnung, man könne durch Pulse oder Wechselfelder die Knochenheilung fördern, schwebt nach wie vor im Ungewissen, und trotz mehrerer Beiträge zu diesem Thema, erscheinen die Berichte über die therapeutische Wirkung statischer Magneten im Millitesla-Bereich immer noch außerordentlich zweifelhaft.

Epidemiologie

Drei Plenarvorträge zur Epidemiologie stimmten die Teilnehmer am dritten Veranstaltungstag auf dieses Thema ein. Den Anfang machte Frau Maria Feyching mit einem Vortrag über epidemiologische Methoden, ihre Stärken und Grenzen im Hinblick auf gesundheitliche Einflüsse durch elektromagnetische Felder. Die Autorin ging von Kohorten-Studien und Fall-Kontroll-Studien als wichtigsten Typen epidemiologischer Erhebungen aus und beschrieb zunächst die diesen Methoden anhaftenden Fehlerquellen. Bei Kohorten Studien, bei denen beispielsweise die Häufigkeit des Auftretens einer Krankheit bei einer Kohorte untersucht wird, die in der Nähe einer Hochspannungsleitung oder eines Senders wohnt, verglichen mit einer Kontrollgruppe ohne solche Einflüsse besteht vor allem die Schwierigkeit in der Dosimetrie, d.h. in der Bestimmung der Intensität des tatsächlichen Einflusses des zu untersuchenden Agens. Dies ist einfacher bei Fall-Kontroll-Studien, in denen beispielsweise untersucht wird, ob Patienten mit Hirntumor häufiger telefoniert hatten als eine Kontrollpopulation, oder näher an einer Hochspannungsleitung wohnten, denn die Anzahl der zu erfassenden Personen ist bei dieser Art der Untersuchung geringer. Dieser Vorteil hebt sich jedoch durch sich selbst wieder auf, ist doch die kleine Zahl der Hauptfeind zuverlässiger epidemiologischer Aussagen.

Eine weitere Unsicherheit und Fehlerquelle besteht in der Definition der Zugehörigkeit zu einer bestimmten Kohorte, sowie eine Definition dessen, was als „Exposition“ zu bezeichnen ist. Werden diese Definitionen durch das Problem der Studie selbst beeinflusst, so ist bereits dessen Objektivität gebrochen. Beispiele für solche Fehl-Klassifikationen wurden im Vortrag genannt. In dem Zusammenhang wird auch auf den „recall bias“ hingewiesen, vielleicht als „Erinnerungs-Fehler“ zu übersetzen, ein Klassifikationsfehler, der die Objektivität dadurch bricht, dass subjektiv die Exposition überschätzt, die Nicht-Exposition hingegen unterschätzt wird. Ausführlich wird die Haupt-Fehlerquelle epidemiologischer Studien überhaupt diskutiert, nämlich die Rolle der „Confounder“, der Nebenfaktoren, welche die Kohorte der exponierten Personen ebenso gegenüber den Kontrollen auszeichnen, wie die zu untersuchenden elektromagnetischen Felder selbst. Es war bemerkenswert, die Fehlermöglichkeiten epidemiologischer Studien aus dem Munde einer Wissenschaftlerin zu hören, die selbst führend an solchen Untersuchungen, vor allem in Schweden, beteiligt war. Die Referentin kommt zu dem Schluss, dass die Epidemiologie zwar prinzipiell die deutlichste Auskunft über gesundheitsschädliche Auswirkungen eines bestimmten Umwelteinflusses liefern kann, dass es aber gleichzeitig eine häufig vertretene Illusion sei anzunehmen, dies sei einfach und in jedem Falle möglich.

Die zweite Referentin, Frau Leeka I. Kheifets erläuterte aus der Sicht der WHO das Thema: „Epidemiologische Studien zu niederfrequenten Feldern und deren Beitrag zur Risiko-Abschätzung“. Sie verwies auf Stellungnahmen der International Agency for Research of Cancer (IARC) und der Strahlenschutzkommission Großbritanniens (AGNIR) zum Zusammenhang von NF-Exposition und Kinder-Leukämie. Obgleich die Unsicherheit und Vorläufigkeit bisheriger Studien erkannt sei, wurden die niederfrequenten Felder von der WHO im Jah-

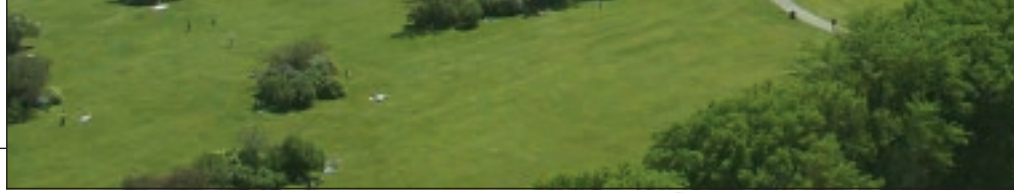
re 2001 in die Kategorie 2b („possibly carcinogenic to humans“) bezüglich Kinderleukämie eingeordnet. Dies ist die niedrigste, von drei, von der IARC definierten Kategorien („is carcinogenic to humans“, „probably carcinogenic to humans“, „possibly carcinogenic to humans“). Für alle anderen Krebsarten und Altersstufen, bezogen auf alle anderen NF-sowie statische Felder gilt: „not classifiable“. Diese vorläufige Eingliederung soll nach Abschluss des 1996 von der WHO angeschobenen internationalen ELF-Projektes, im Jahre 2003 überprüft werden (siehe auch: „Fact Sheet N° 263“ vom Oktober 2001, im Internet über die WHO abrufbar). Die Referentin verwies in diesem Zusammenhang auf den psychologischen Unterschied zwischen freiwilliger und unfreiwilliger Exposition bei allen Diskussionen von Vorsorge- und Sicherheitsmaßnahmen. Dies betrifft natürlich in erster Linie den Hochfrequenz-Bereich, zu dem die WHO eine Stellungnahme zu einem späteren Zeitraum plant.

Schließlich wurden in einem dritten Plenarvortrag zu epidemiologischen Studien auch Untersuchungen von potentiellen Gesundheitsgefahren durch Radiofrequenz- und Mikrowellen-Felder von drahtlosen Kommunikationsanlagen diskutiert. Diesen Vortrag hielt M.L. McBride von der British Columbia Cancer Agency (Kanada). Der Referent unterstrich, dass es bisher nur wenige brauchbare Studien zur Wirkung hochfrequenter Felder auf die Gesundheit der Bevölkerung gäbe, berücksichtigt man statistische Sicherheit, Zuverlässigkeit der Dosimetrie und Sorgfalt der Durchführung. Hinzu kommt noch die zumeist kurze Dauer der beobachteten Einwirkung. Studien aus dem Bereich militärischer HF-Anwendungen seien aus verschiedenen Gründen kaum für diese Fragestellung zu verwenden. Mit diesen Einschränkungen behaftet, lautet das derzeitige Resultat jedoch, dass keine gesundheitlichen Effekte nachweisbar sind. Dabei beruft sich der Referent im wesentlichen

auf die Arbeiten von R.W. Morgan et al. (Epidemiology 11, 2000, 118) und C. Johansen et al. (J. National Cancer Institute 93, 2001, 203), bei denen immerhin 200.000 bzw. 420.000 Personen erfasst wurden. Der Referent unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen, fordert jedoch, Schlussfolgerungen immer im Hinblick auf experimentelle Untersuchungen zu möglichen zugrunde liegenden Mechanismen zu ziehen, die allein Auskunft über Kausalitätsbeziehungen geben könnten.

Die Sektion 17 enthielt noch drei Kurzreferate zur Epidemiologie. Davon bezog sich jedoch nur ein Beitrag unmittelbar auf eine epidemiologische Studie. T.Tynes (17-1) präsentierte eine Erhebung der Norwegian Radiation Protection Authority, in welcher in Kooperation mit dem Norwegischen Krebsregister nach Korrelationen zwischen einer 50Hz-Exposition in der Nähe von Hochspannungsleitungen und verschiedenen Arten von Blutkrebs gesucht wurde. Ebenso wie in der kürzlich erschienenen Publikation der gleichen Gruppe (Blaasaas et al.: Occupat. Environ. Med. 59, 2002, 92) in welcher nach Geburtsrisiken bei elterlicher Befeldung gefragt wurde, konnten auch hier keine signifikanten Korrelationen gefunden werden.

Die anderen beiden Vorträge der Sektion 17 waren methodischer Art. Bowman et al. (17-2) sind der Meinung, dass bei epidemiologischen Untersuchungen die magnetische Flussdichte ein ungeeignetes Korrelat zu Erkrankungen im Niederfrequenz-Bereich sei. Dadurch ließen sich die Differenzen in den Erhebungen verschiedener Autoren erklären. Der Referent schlug statt dessen drei andere Messgrößen vor, die sich aus Vorstellungen über Mechanismen ergäben, wie z.B. die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte (dB/dt) als Maß für die Strom-Induktion im Körper, die Quadrat-Summe der Flussdichten des statischen und des ELF-Feldes (bezogen auf die mögliche Wirkung auf Radikale) und ein nicht näher definiertes



„Lednev-Maß“. Diese Maßnahme wäre sicher sinnvoll, vorausgesetzt, die ihr zugrundeliegenden Hypothesen wären fundiert. Kang und Gandhi (17-3) diskutieren praktikable Dosimetriebezüge für Feld-Pulse, bzw. andere, von der Sinus-Funktion abweichende Wechselfelder.

Dosimetrische Aspekte epidemiologischer Erhebungen waren auch in den Postern zu finden. So demonstrierten Morrissey et al. (P-61) das bereits auf dem 23. BEMS-Kongress vorgestellte Dosimeter-Telefon von Motorola, das es erlaubt die Exposition von Handynutzern besser zu erfassen. Gauvin et al. (P-62) unterlegten die bereits publizierten Untersuchungen zu Unterschieden in der Melatonin-Ekretion von Frauen in Abhängigkeit vom Wohnort in der Nähe von Hochspannungsleitungen (Levallois et al.: Am. J. Epidem. 154, 2001, 601) mit dosimetrischen Messungen. Sie stellten fest, dass gegenüber der mittleren Flussdichte von 0,13 Mikrottesla in der Kontroll-Gruppe, der Wert bei Personen, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen wohnen um das dreifache übertroffen wird. Das macht allerdings die in der vorausgegangenen Studie gefundenen Trends nicht signifikanter.

Auch die Ergebnisse der mehrfach methodisch kritisierten australischen Studie (Med. J. Aust. 165, 1996, 601) zu einer angeblichen Erhöhung der Kinderleukämie in der Nähe von Sendemasten konnten Hocking et al. (P-59) durch zusätzliche Erfassung der Überlebensdauer der betroffenen Personen nicht erhärten.

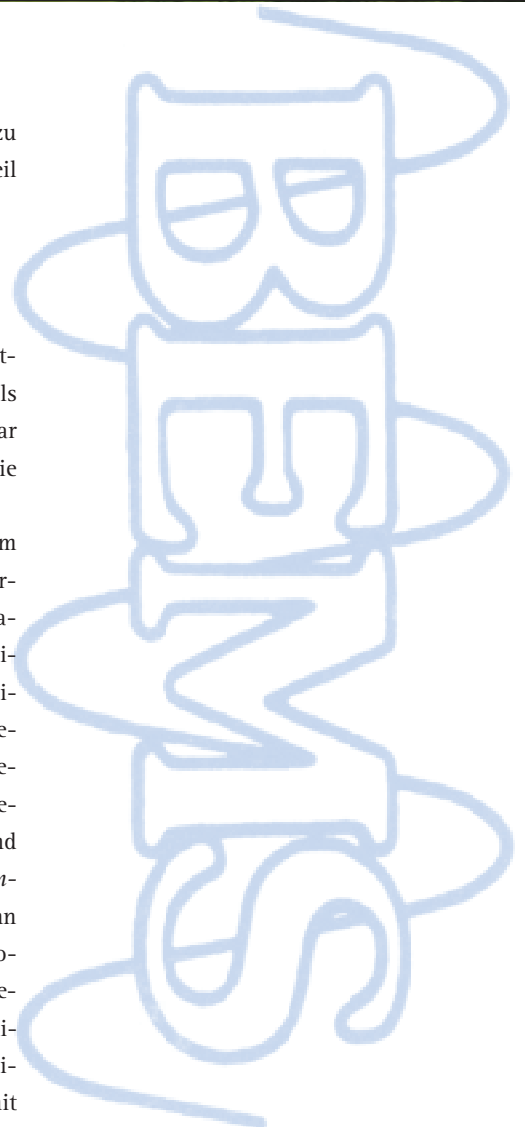
Dunn et al. (P-60) demonstriert erste Ergebnisse einer Fall-Kontrollstudie zur möglichen Korrelation zwischen Leukämie und niederfrequenten Feldern. Obgleich bereits 1997 begonnen, sind bisher lediglich 128 Fälle von Kindern unter 16 Jahren aus SW-England mit der Diagnose Leukämie oder Hirntumor erfasst. In all diesen Fällen erfolgten Befragungen im Elternhaus und gründliche Messungen. Lediglich bezogen auf die Leukämie zeichnet sich ein signifikantes Ergebnis ab, jedoch schätzen die

Autoren die erfassten Zahlen noch als zu gering ein, um ein abschließendes Urteil zu fällen.

Mechanismen der Wechselwirkung

Dieser zentralen Frage sowohl des Schutzes vor elektromagnetischen Feldern, als auch ihrer medizinischen Anwendung war die vierte Plenarsitzung gewidmet, sowie eine Sektion mit sechs Kurzvorträgen.

Als Einführung beleuchtete S. Engström (USA) die Gesamtsituation mit einem Vortrag zum Thema: „Physikalische Mechanismen zur Übertragung elektromagnetischer Felder in der Biologie“. Mangels eigener theoretischer Arbeiten war er unbelastet durch den Drang, eigene Hypothesen in den Vordergrund zu stellen. So referierte er einige geläufige Theorien und bemängelte, dass bisher kein *Experimentum crucis* vorgeschlagen, geschweige denn durchgeführt worden sei um eine Hypothese gegenüber einer anderen auszuschließen. Es würde nur immer mehr oder weniger überzeugend versucht die jeweils eigene Vorstellung zu verifizieren. Damit greift er eine Idee auf, die er vor wenigen Jahren in einer Publikation zusammen mit R. Fitzsimmons diskutierte (Bioelectromagnetics 20, 1999, 423). Eine ganze Reihe offener Probleme würden derzeit zur Klärung anstehen: Warum sind theoretisch postulierte Resonanzen im Niederfrequenz-Bereich bisher nicht eindeutig nachgewiesen? Hat es Sinn, die Hypothese der Radikal-Paar-Rekombination noch weiterhin für Fragen der Umweltexposition zu diskutieren, wenn doch der Effekt unter einer Flussdichte von 1 mT nicht mehr nachweisbar ist? Was lehren uns eigentlich die Versuche zur Magnetorientierung vieler verschiedener Tiere? Obgleich man auch diesen Mechanismus nicht kennt, so scheint es doch Rezeptoren von erstaunlicher Empfindlichkeit bezüglich Amplitude und sogar Orientierung magnetischer Felder zu geben. Dies müsste zumindestens im Niederfrequenzbereich auch für den Strahlen-



schutz von Bedeutung sein. Ferner lehren uns diese Experimente, dass es ein Zusammenspiel verschiedener Umweltfaktoren gibt. Insbesondere das Licht scheint zumindestens in einigen Fällen für die Magnetrezeption wichtig zu sein. Könnte nicht vielleicht der Synergismus mehrerer, in den Experimenten nicht immer kontrollierter physikalischer Einflüsse Grund für die Divergenzen der Resultate verschiedener Autoren sein? Dass der Vortrag mehr Fragezeichen enthielt als gesichertes Wissen ist nicht dem Referenten anzulasten sondern demonstriert die derzeitige Situation der Ratlosigkeit bezüglich dieser biophysikalischen Grundlagen.

In dieser Hinsicht unterschied sich dieser von den beiden folgenden Vorträge, die man boshaft-zynisch mit Wilhelm Busch's Wahlspruch „nur was wir glauben, wissen wir gewiss“ überscheiben könnte.

M. Blank (USA) sprach über „Biologische Transduktions-Mechanismen“ und referierte seine eigenen, mehrfach publizierten Hypothesen. Er begann mit seinem „Change in Ion Activation“-Modell, das auf der Niederfrequenz-Aktivierung der Ionenpumpen (Na-K-ATPase) beruht. Experimente dazu wurden von ihm vor 13 Jahren erstmalig publiziert (Bioelectrochem. Bioenerg. 22, 1989, 313), konnten aber von niemandem bisher experimentell verifiziert werden. Ebenso experimentell in der Luft hängt seine Hypothese zum Feldeinfluss auf intramolekularen Elektronentransport die aus der Zeit seiner Zusammenarbeit mit Frau Goodman stammt (Bioelectromagnetics 18, 1997, 111) und auf eigenen Experimenten zu Cytochrom-Oxidase und DNA basieren. Auch die Beeinflussung der Belousov-Zhapotinski-Reaktion, der Standard-Demonstrations-Reaktion für dissipative Strukturen in der nichtlinearen Thermodynamik, durch Magnetfelder von Flussdichten unter einem Mikrotor gelang trotz weltweiter Versuche bisher nur dem Referenten selbst. Als guter Referent und kluger Theoretiker konn-

te Martin Blank seine Vorstellungen durchaus plausibel machen, nur fehlt leider die experimentelle Verifizierung.

Etwas anders lag der Fall bei dem nächsten Referenten, R.D. Astumian (USA), der zum Thema sprach: „Nichtlineare Mechanismen als Reaktionen auf schwache EM-Felder“ (in Abweichung zu der im Abstract-Band ausgedruckten Überschrift). Sein engagierter und bewegter Vortrag war theoretisch ausgerichtet und berührte nur beispielhaft als Analogexperiment ein ballistisches Transportphänomen aus der Festkörperphysik. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie können schwache Wechselwirkungen gegen die thermische Molekülbewegung ankommen? Er bemühte dazu ein mechanisches Modell, die „Feynman's Ratchets“, eine Art Maxwell-Dämon, bestehend aus einem Mühlrad mit einer Rücklauf-Hemmung versehen, so dass es sich nur in einer Richtung drehen kann. Stochastische thermische Stöße können es folglich drehen. Derartige Asymmetrien, so der Referent, könnte es auch in biologischen Transportphänomenen geben und würden folglich die Brownsche Bewegung überspielen. In seinen Ausführungen dominierte der Konjunktiv, wie leider auch in seinen anderen Publikationen, auch in jener zu diesem Thema in der Science (276, 1997, 917).

In der Sektion 18 fanden noch 6 Kurzvorträge zum gleichen Thema statt. M. L. Swicord (18-1) (Motorola, USA) unterstrich angesichts neuer Technologien mit neuen Frequenzbändern und Modulations- bzw. Pulsformen die Notwendigkeit Resultate aus Experimenten mit verschiedenen Feldparametern miteinander zu vergleichen und eine Übertragbarkeit der Ergebnisse zu erreichen. Dies jedoch erfordere Kenntnis der Mechanismen. In diesem Zusammenhang informierte er über den, im Vorjahr in Washington stattgefundenen Workshop zu diesem Thema, dessen Bericht unter www.mmfa.org/ im Netz abrufbar sei. Er verwies auf die thermischen Effekte, welche Wirkungsmechanismen durch Tem-

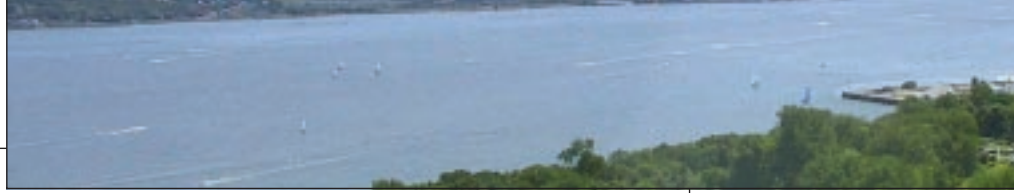
peraturgradienten einschließen könnten.

Zwei Beiträge aus der Arbeitsgruppe von G. D'Inzeo aus Rom bezogen sich zwar auf Mechanismen, waren jedoch wenig überzeugend: Frau R. Schiavo (18-2) führte Berechnungen zur Larmor-Präzession von Lipid-Kopfgruppen vor, mußte aber in der Diskussion auf die Frage von R. D. Astumian zugeben, dass diese Berechnungen unter idealisierten Bedingungen durchgeführt seien, nämlich ohne Beachtung der viskösen Dämpfung und des thermischen Rauschens. Damit verlieren die Aussagen natürlich an Wert. Auch der Beitrag von F. Apollonio et al. (18-5) zur Modellierung von Ionenkanälen und den Einfluß elektrischer Wechselfelder zeigte einen hohen Grad an Idealisierung.

Ein Beitrag von Q. Balzano und A. Sheppard (USA) (18-4) bezog sich auf die Bedeutung von Nichtlinearitäten bei möglichen Prozessen der Demodulation von HF-Feldern durch das molekulare biologische System. Er lieferte somit die Theorie zu einem kürzlich veröffentlichten Vorschlag Balzano's, solche Demodulationen, so sie existieren, experimentell nachzuweisen (Bioelectromagnetics. 23, 2002, 278).

Die Aktivitäten der Japaner auf dem Gebiet der Wirkung extrem starker magnetostatischer Felder in der Gruppe um S.Ueno spiegelte sich auch in einem Beitrag zur Frage der Wirkungsmechanismen wieder. M. Iwasaka et al. (18-3) berichteten über die Wirkung von 8T Feldern auf die Katalase-Aktivität, nämlich die Spaltung von Wasserstoff-Peroxyd. Im Gegensatz zu früheren Versuchen, bei denen sich das Enzym in Lösung befand, konnten die Autoren einen Einfluss auf die Reaktion nachweisen, wenn es auf einer Platin-Oberfläche fixiert und orientiert war. Damit wiesen sie die Rolle der molekularen Orientierung zumindestens bei der Magnetfeldwirkung nach, wobei sie annehmen, dass die Reaktion auf dem Radikal-Paar-Mechanismus basiert.

In einem Beitrag, der allerdings in den Abschnitt über kognitive Einflüsse auf den



Menschen eingegliedert war, philosophierte Adey (4-1) über die mögliche Wirkung elektromagnetischer Energien, die klein gegenüber dem thermischen Rauschen sind. Er führte Beispiele an, wo solches ohne Zweifel und durch spezielle Mechanismen bedingt ist, wie beim Hörvorgang, oder bei der Elektrozepktion mancher Fische. Ermöglicht wird dies durch ein System kommunizierender Zellen, wie eben auch der Treffer des genetischen Materials einer Zelle durch ein Alpha-Quant auch zu Mutationen benachbarter Zellen führen kann.

Zum Thema „Mechanismen der Wechselwirkung“ gab es auch einige wenige Poster, meist von Studenten, die jedoch keine neuen Vorstellungen oder Einsichten zu diesem Thema brachten, vielmehr zellbiologische Versuche vorstellten, die im Bericht an anderer Stelle diskutiert werden.

In-vitro Untersuchungen

In-vitro-Untersuchungen waren Gegenstand von zwei Sektionen mit insgesamt 12 Kurzvorträgen. Außerdem bezogen sich noch Kurzvorträge aus anderen Sektionen, sowie etwa 40 Poster auf diese Thematik, dehnt man den Begriff aus, von biochemischen Modell-Untersuchungen bis hin zu Experimenten an Geweben und Organen. Doch nicht nur die Objekte der Untersuchungen differierten, desgleichen auch die applizierten Felder und natürlich auch die Zielrichtung der Experimente.

Obleich es zur Zeit in der wissenschaftlichen Literatur viele Untersuchungen zur Expression von Hitzeschock-Proteinen (HSP) gibt, waren die Autoren dieser Publikationen leider auf dem Kongress nicht vertreten. Lediglich D. Leszczynski (Finnland) (1-2) berichtete über die Expression von Hitzeschockprotein (HSP27) in menschlichen Endothelzellen nach einstündiger Befeldung mit 900MHz bei einem SAR von 2W/kg. Der Nachweis erfolgte immun-histochemisch und erlaubt dadurch lediglich qualitative Aussagen. Der Autor hält die Reaktion für nicht-thermisch, die

Bestimmung des SAR-Wertes in den Kulturen wurde allerdings in der Diskussion kritisch hinterfragt. Als Folge der HSP-Expression sieht er die beobachteten Schrumpfungen der Zellen und leitet daraus einen möglichen Einfluss auf die Veränderung der Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke ab. Diese Schlussfolgerung erscheint allerdings etwas gewagt. Man kann auf die angekündigte Publikation gespannt sein.

Während hier ein Mechanismus potentieller Gefährdung des Organismus durch HSP konstruiert wird, sehen Sonntag (1-5) und Gottwald et al. (3-4) darin ein mögliches Therapeutikum bei Ischämie oder Infarkt Gefährdung. Sie isolierten hsp72mRNA aus HL-60 Zellen bzw. Myoblasten der Ratte und fanden einen Anstieg nach mehreren Stunden als Folge einer 15 minütigen Befeldung mit 1mT (50Hz). Auch weitere Arbeiten sind als Grundlagen-Untersuchungen für therapeutische Anwendungen gedacht, brachten aber weder neue noch überzeugende Resultate (Nindl et al. 1-1, Herbst et al. 1-6, Teng et al. 3-3).

Bemerkenswert erscheinen einige Arbeiten zum Einfluss hochfrequenter Felder auf genetische Prozesse. Eine französische Gruppe (Perrin et al. 3-1) untersuchte den Einfluss von kontinuierlichen und gepulsten 2,5GHz-Feldern auf Mutationen prokaryotischer Zellen, mit Hilfe des AmesII-Mutations-Tests an *Salmonella typhimurium*. Während diese Felder auch nach 16 stündiger Befeldung mit SAR-Werten von 3W/kg keine Änderung im Wachstumsverhalten zeigten, konnte durch die gepulsten (217Hz) HF-Felder, nicht jedoch durch unmodulierte, ein Einfluss auf chemisch induzierte Mutationen beobachtet werden, der als „protective“ zu bezeichnen ist.

McNamee et al. (3-5) untersuchte Kulturen menschlicher Lymphozyten, die 2 bzw. 24 Stunden lang einem 1,9GHz-Feld in SAR-Werten bis 10W/kg ausgesetzt waren. Auch diese Autoren verwendeten sowohl konti-

B E M S 2 0 0 2

nuierliche, als auch 50Hz amplituden-modulierte Felder. 1,5Gy Gamma-Strahlung wurde als Positiv-Kontrolle eingesetzt. Als Test für DNA-Schäden wurde der alkalische Comet Assay verwendet. Auch die Mikronukleus-Bildung wurde untersucht. Bei keiner Expositionsart der HF-Felder konnten jedoch Einwirkungen auf den genetischen Apparat gefunden werden. Der Kurzvortrag wurde noch durch Daten aus einem Poster (McNamee et al. P-90) unterstützt.

Ein dritter Beitrag zu diesem Problemkreis stammt von einer israelischen Arbeitsgruppe (Mashevich et al. 3-6, vorgelesen von R. Korenstein). Hier wurde der Einfluss von 830MHz Feldern mit SAR-Werten zwischen 1,6 - 9W/kg bei einer Expositionsdauer von 72 Stunden auf Kulturen menschlicher Lymphozyten untersucht. Bei den höchsten SAR-Werten fand eine Erwärmung der Proben statt, die man mit Hilfe eines Thermostaten in den Grenzen von 34,5 - 37,5°C hielt. Mit Hilfe von Fluoreszenz-Markierung (Fluorescence-in-situ-hybridization assays) wurde die Aneuploidie untersucht, der Verlust an genetischem Material im Verlaufe der Mitosen. Ab SAR-Werten von 8,2W/kg konnten deutliche Effekte gemessen werden. In der Diskussion wurde kritisch vermerkt, dass eine Thermostatierung im Wasserbad nicht gleichzusetzen sei mit einer solchen, die Hyperthermie-Effekte einbezieht.

Schließlich seien noch zwei Beiträge aus einem japanischen Labor angeführt, die sich beide dadurch auszeichnen, dass der Einfluss ungewöhnlich hoher Feldstärken untersucht wurde. Nakahara et al. (3-2) wiesen geringe Einflüsse von starken (10T) statischen Magnetfeldern auf die Gen-Expression menschlicher Glioma-Zellen nach. Die Autoren empfahlen dies bei der Festlegung von Grenzwerten dieser Felder in der NMR zu berücksichtigen. Miyakoshi et al. (13-1) aus der gleichen Arbeitsgruppe berichtete über genetische Veränderungen in menschlichen Melanoma Zellen bei starken 60Hz-Feldern. Während Langzeiteinwirkung (bis 6 Wochen) keinen unmittelbaren Einfluss auf die Mutationsfrequenz

ausübte, konnten mit 400mT bei anderen Zellen (PC12-VG) Genexpressionen induziert werden. Zweitägige Expositionen von CHO-KI-Zellen mit starken 2,45GHz-Feldern (100W/kg!) hemmt die Proliferation.

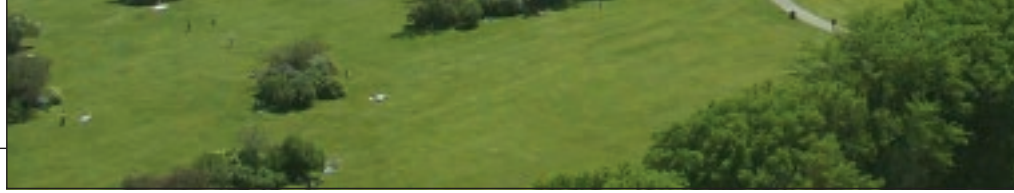
Den in-vitro-Versuchen ist auch der Beitrag von Tattersall et al. (4-2) zuzuordnen, obgleich dieser in Sektion 4: „Radiofrequency field and cognition“ eingegliedert ist. Die Autoren beziehen sich im Wesentlichen auf ihre kürzlich erschienene Publikation (Brain Research, 904, 2001,43) und gehen in ihrer Information nicht darüber hinaus. Es handelt sich um eine interessante Versuchsanordnung, um den Einfluss hochfrequenter Felder auf die Funktion des Hypocampus zu testen. Zu diesem Zweck wurden Gehirnschnitte auf einem Nylon-Netz in physiologischer Lösung unter Temperaturkontrolle in einen abgestimmten Wellenleiter gebracht. Das kollektive evozierte Potential der Zellen in den Schnitten nach elektrischer Reizung wurde abgeleitet und als Indikator für die Einwirkung der applizierten HF-Felder (700MHz, 71V/m) verwendet. Die Experimente waren gut reproduzierbar, allerdings konnte der Referent keine genauen Angaben zu SAR-Wert und dem genauen Temperatur-Verlauf machen. Die Autoren hoffen dieses Modell einsetzen zu können, um eventuelle Frequenz-Spezifitäten zu finden.

In der gleichen Sektion findet sich noch ein Beitrag aus derselben Arbeitsgruppe (Green et al. 4-3), in welchem die Methode erläutert und die Absicht geäußert wird, den Kalzium-Stoffwechsel dieser Gehirnschnitte zu messen.

In-vivo Tier-Versuche

Diese Thematik, in zwei Sektionen behandelt, beinhaltet 11 Kurzvorträge und 22 Poster. Die drei ersten Vorträge (5-1, 5-2, 5-3) waren medizinisch orientiert und sind in dem entsprechenden Abschnitt dieses Berichtes erwähnt.

Im Mittelpunkt dieser Sektion stand die Frage nach einer möglichen kanzerogenen



nen Wirkung hochfrequenter Felder. Zwei Beiträge setzten sich mit der seit einiger Zeit diskutierten Frage auseinander, warum Befunde der Gruppe um W. Löscher über die Krebs-fördernde Wirkung elektromagnetischer Felder durch andere Forschungs-Gruppen nicht verifiziert werden konnte. Sasser et al. (5-4) wiesen am Beispiel von zwei genetisch unterschiedlichen Stämmen dieser Sprague-Dawley-Ratten Differenzen nach in der Empfindlichkeit gegenüber dem Kanzerogen DMBA selbst, und auch gegenüber der zusätzlichen Befeldung mit 1,6GHz-Feldern. Fedrowitz und Löscher (5-6) untersuchten die gleichen genetischen Stämme und kamen zu gleichen Resultaten bzw. zu Unterschieden im Einfluss niederfrequenter Felder, entsprechend der kürzlich publizierten Resultate (Fedrowitz et al.: Cancer Research 62, 2002, 1356).

In Zusammenhang mit diesen Arbeiten stand auch der Beitrag von La Regina et al. (11-3) aus dem Onkologie-Zentrum Washington über ein Langzeit-Experiment an insgesamt 480 Ratten, die in Gruppen zu je 80 Tieren 835,62MHz kontinuierlichen bzw. CDMA-modulierten Feldern, sowie 847,74MHz CDMA-Feldern ausgesetzt waren. Die Versuche begannen mit 6 Wochen alten Tieren und dauerten zwei Jahre. Die Tiere wurden untersucht nach mittlerer Lebensdauer, Körpergewicht, Tumor-Inzidenz und sonstige histopathologische Veränderungen der Organe ohne dass signifikante Veränderungen festgestellt werden konnten.

Buschmann et al. (11-2) stellte Experimente vor, bei denen Ratten mit einem 890MHz, GSM-Feld ($60W/m^2$) von Anfang bis zum 20 Tag der Trächtigkeit befeldet wurden. Auch hier konnten keinerlei signifikante Veränderungen weder beim Muttertier, noch beim Fötus beobachtet werden.

In einer anderen Sektion berichten Shirai et al. (13-3) über Untersuchungen zu möglichen Einwirkungen von 900MHz- und 1,5GHz-Feldern auf die Entwicklung von

Leberkarzinom der Ratte und den Hautkrebs bei Mäusen. Im Falle des Leberkarzinoms wurden Ratten mit beiden Frequenzen jeweils 90 Minuten/Tag, 5Tage/Woche, 6 Wochen befeldet, wobei die SAR-Werte zwischen 0,45 und 0,8W/kg lagen. Der durch Applikation von Diethylnitrosamin induzierte Leberkrebs wurde durch die Befeldung in keiner Weise beeinflusst. Negativ waren auch die Ergebnisse der Versuche, bei denen ein Hautkrebs bei Mäusen durch DMBA-Behandlung erzeugt wurde. Eine Befeldung lokal mit 2W/kg (mittl. Ganzkörper SAR: 0,084W/kg), in gleichem Regime wie oben über 19 Wochen zeigte keinen Einfluss auf das Krebswachstum.

Masuda et al. (5-5) berichteten über Untersuchungen zur Durchblutungssituation des Rattengehirns nach Langzeit-Exposition mit 1,439GHz, wobei Spitzen-SAR-Werte im Gehirn von 6,2W/kg erreicht wurden. Auch nach 4 wöchiger Befeldung (1 Stunde/Tag, 5 Tage/Woche) konnten weder Veränderungen der Mikrozirkulation, noch Veränderungen der Blutgefäße oder des Gehirns festgestellt werden, die auf eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke schließen lassen. Auch die Leukozyten-Zahl blieb unverändert.

Seaman et al. (11-5) stellten eine Untersuchung zur Verhaltensbeeinflussung von Ratten durch eine einmalige Befeldung mit 1,25GHz Puls-Paketen (6 Mikrosekunden-Pulslänge, 10Hz, 30Minuten Dauer, 0,6W/kg) vor. Dabei wurden durch automatisierte Messungen verschiedene Bewegungsarten der Tiere, inklusive Schreckreaktionen nach der Applikation der Pulse mit denen der Kontrolltiere verglichen. Lediglich eine einzige Bewegungs-Variable, nämlich die Total-Dauer stereotyper Bewegungen, war im Falle befeldeter Tiere etwas verkürzt. Die Autoren schreiben diesem Einfluss jedoch keine biologische Bedeutung zu.

In einem Beitrag, der dem Abschnitt über kognitive Prozesse beigefügt war, kritisierten Cobb und Adair (4-5) die bereits vor

einigen Jahren von Lai et al. (Bioelectromagnetics 15, 1994, 95) publizierte Arbeit, in welcher dieser über Verhaltenseinflüsse von 2,45GHz-Pulsen bei einem SAR Wert von 0,6W/kg auf das Lernverhalten von Ratten berichtete und zusätzlich nachwies, dass dieser Effekt durch Opiate aufgehoben werden kann. Durch erneute statistische Bearbeitung der Daten dieser Autoren konnten Cobb und Adair nachweisen, dass diese Rückschlüsse nicht berechtigt sind.

Untersuchungen an Probanden

Direkt am menschlichen Probanden wurden sowohl nieder- als auch hochfrequente Einflüsse in mehreren Sektionen vorgestellt. 9 Beiträge in den Sektionen 2 und 4 waren dem Thema: „kognitive Einflüsse von Radiofrequenzen“ zugeordnet, wovon allerdings die Hälfte davon sich gar nicht auf Experimente an Probanden bezogen und deshalb im vorliegenden Bericht an anderer Stelle referiert werden. Sektion 6 befasste sich in 6 Beiträgen mit „in-vivo Untersuchungen am Menschen“. Ferner gab es noch 11 Poster zu diesem Themenkreis.

Die Vorträge der Sektionen 2 und 4 hatten referierenden Charakter und boten keine neuen Daten. Der Beitrag von Frau Krause (2-1) fasste die bereits publizierten Arbeiten dieser finnischen Gruppe zusammen und konstatierte, dass man unter dem Einfluss der Felder des Mobilfunks einerseits eine Verkürzung der Reaktionszeit, andererseits aber eine Verlängerung der Zeit gefunden habe, die zur Lösung arithmetischer Aufgaben erforderlich sei. Sie wies auf die Schwierigkeit hin, diese Befunde im Sinne des Gesundheitsschutzes zu interpretieren.

Wood et al. (2-2) gaben eine Übersicht zum Thema: „Einfluss der Felder des Mobiltelefons auf menschliche Wahrnehmungsprozesse“. In diesem Zusammenhang verwies er auf eine Reihe von Fehlermöglichkeiten, die man durch sorgfältige Versuchsplanung vermeiden müsse.

So sei zu sichern, dass die Anzahl der Probanden den Anforderungen der Statistik genüge, dass die Probanden einer durchschnittlichen Population angehörten (incl. Kinder, Alte, Kranke), dass jeder Proband seine eigene Kontrolle bilde, und dass schließlich auch Folge-Effekte nach der Befeldung gemessen würden. Er wies auch darauf hin, dass beim tatsächlichen Handy, im Unterschied zu manchen experimentellen HF-Anordnungen auch niederfrequente Pulse emittiert würden (ca. 7,5 Mikrottesla). Auch sei zu beachten, ob die im Versuchsgerät emittierten HF-Felder nicht vielleicht im Schaumstoff der Umkleidung wärmebedingte Töne erzeugen würden. Dies könnte Sekundäreffekte hervorrufen, zu mindestens jedoch den Doppelblind-Charakter der Versuchsanordnung aufheben. Eigenartig berührt es, wenn als Erklärung möglicher Effekte immer wieder die nie reproduzierbaren und deshalb von den Spezialisten längst ad acta gelegten Befunde von Bawin und Adey über Kalzium-Ausscheidung aus Gehirngewebe als Folge einer HF-Befeldung aus dem Jahre 1976 herangezogen werden. Wenn auch falsch, so ist es doch schön und deshalb unausrottbar! (Adey selbst, verzichtet in seinem Beitrag 4-1 auf dieses Argument, obgleich es dort gut gepasst hätte).

D'Andrea (2-3) ging von eigenen Arbeiten, und derjenigen der Gruppe um DeLorge über die Beeinflussung der Verhaltens von Affen aus und leitete aus diesen, sowie Experimenten mit anderen Tieren mögliche Einflüsse auf den Menschen ab. Im Mittelpunkt seiner Diskussionen stand der thermische Einfluss. Auch die beobachtete Frequenzabhängigkeit des Einflusses auf das Tierverhalten bezog er in Hinblick auf Resonanzfrequenzen, auf thermische Einwirkungen. Unter diesem Aspekt konstruierte er ein Phasendiagramm, das auf der Ordinate die Körpertemperatur, auf der Abszisse die Zeit enthält. Zwei, nach der Zeit exponentiell auf einen Endwert abfallende Linien markieren in aufsteigen-

der Reihe die Zone der Unempfindlichkeit, die Stress- und schließlich die Gefahrenzone. Je kürzer die Zeit der Einwirkung, um so höher ist demnach der Toleranzwert der thermischen Einwirkung.

Schließlich gaben Morrissey und Swi- cord eine kritische Übersicht zum Thema „Was ist eigentlich die kollektive Mitteilung der Untersuchungen zur Reaktion des menschlichen Gehirnes auf die Exposition durch Handy's?“ Sie kamen zu dem Schluss, dass es zwar eine Reihe gemessener Reaktionen gibt, diese jedoch ein hohes Maß an Inkonsistenz zeigen. So fehlt es an Reproduktionen der Befunde; die gemessenen Effekte sind so gering, dass sie physiologisch unbedeutend erscheinen; die Versuchsbedingungen sind mitunter schlecht kontrolliert. Man hat nicht den Eindruck, eine Publikation würde die andere stützen und die einmal gefundenen Ergebnisse fortführen und vertiefen. Diese Ergebnisse reichten folglich nicht aus, um irgend eine zuverlässige Schlussfolgerung über eine mögliche gesundheitliche Schädigung durch die Felder des Mobiltelefons zu begründen.

Die Sektion 6: „in-vivo Untersuchungen an Menschen“ hatte unterschiedliche Themen. Alekseev et al. (6-1) zeigten Theorie und Messung der Temperaturverteilung in der menschlichen Haut nach Befeldung mit Millimeter-Wellen (75GHz). Dabei stellten sie fest, dass die Wärmeeinwirkung, vorwiegend aufgrund der Wärmeleitung des Gewebes, in tiefere Schichten eindringt als die Strahlung selbst. Die stationäre Temperatur der Haut bei kontinuierlicher Einstrahlung hängt von der Durchblutungsintensität ab.

Thoss et al. (6-2) demonstrierten im Vergleich zur BEMS 2001 und Publikation (J. Comp. Physiol. A 186, 2000,1007) weiterführende Untersuchungen zum Einfluss des geomagnetischen Feldes auf die differentielle Lichtempfindung des Menschen. Sowohl Feldstärke als auch Richtung des Feldes beeinflussen die Fähigkeit eines Probanden, die Helligkeit eines Lichtpunktes

auf einer Projektionsfläche von derjenigen der Umgebung zu differenzieren.

Im Vortrag 6-3 ging J.A. Elder der Frage nach: sind Kinder tatsächlich stärker durch die Felder des Mobilfunks gefährdet als Erwachsene? Als Argument für eine solche höhere Empfindlichkeit wird allgemein auf mögliche Störungen während der kindlichen Entwicklung des Gehirns hingewiesen. Als Resultat einer Literaturrecherche kommt der Referent zu dem Schluss, dass diese Behauptung experimentell nicht belegbar ist. Berücksichtigt man, dass das menschliche Gehirn bei der Geburt schon wesentlich weiter entwickelt ist, als vergleichsweise dasjenige eines neugeborenen Nagetiers, dann müssten sich die Effekte bei diesen Versuchstieren deutlicher zeigen als beim Menschen. Viele Langzeitexperimente mit diesen Tieren konnten jedoch keine Entwicklungsdefekte nachweisen.

Während im Labor von Frau E.R. Adair (6-4) bisher Reaktionen der Thermoregulation an Probanden nach Befeldung mit hohen Frequenzen (0,45 und 2,45GHz) und entsprechend geringer Eindringtiefe durchgeführt wurden (Bioelectromagnetics 22, 2001,246 und 429), interessierte man sich jetzt für die Wärmeverteilung im Körper bei einer Befeldung mit 100MHz, also nahe der Resonanzfrequenz des Körpers. Erwartungsgemäß zeigte sich dann eine andere Temperaturverteilung, die jedoch, offenbar durch tiefer liegende Wärmerezeptoren stimuliert, ebenfalls die physiologische Wärmeregulation des Körpers aktiviert und dadurch abgefangen wird.

J. Juutilainen (6-5) ging der Frage nach, ob ein niederfrequentes Magnetfeld in der Lage ist, die Lichtempfindlichkeit des Menschen in Relation zum Melatoninhaushalt zu verändern. Zu diesem Zweck wurden Näherinnen einer Kleiderfabrik bezüglich ihrer Schlafgewohnheiten befragt (Licht am Bett, Art der Vorhänge etc.) und gleichzeitig die Ausscheidung von 6-hydroxy-Melatoninsulfat im Urin gemessen. Aus der statistischen Auswertung glaubte der Re-

ferent seine Annahme eines Zusammenhanges bestätigt. Die Anzahl der Personen in den 4 Gruppen die sich durch die Kombinationen der Kategorien: „Licht bei Nacht“ und „Magnetfeld-Exposition“ einerseits, und Erhöhung des Melatoninspiegels: „ja“ oder „nein“ ergaben, war jedoch sehr klein und sehr heterogen. Sie bewegte sich zwischen 4 und 32.

In einem letzten Beitrag dieser Sektion (6-6) sprach B.A. Chronik das Problem der peripheren Nervenstimulation durch Magnetfeldgradienten in der MNR-Tomographie an. Dieser Effekt verhindert die für die Auflösung des Bildes und die Verkürzung der Messzeit wünschenswerte Erhöhung des Gradienten in den kommerziellen Geräten. Es konnte jedoch durch Versuche an Probanden verschiedener Körperstatur (Körpergewicht, Fettansatz, Coronal-Profil etc.) keine Korrelation gefunden werden.

Zusammenfassung

Wie immer bot die Tagung eine Fülle von Material, das erst im Nachhinein geordnet und eingearbeitet werden kann. Einige Fragen und Feststellungen, die sich dem Berichterstatter bei der Tagung selbst und bei der Sichtung des Materials im Anschluss dieser ergeben, seien thesenhaft dargestellt:

- Noch immer sind wir leider keinen Schritt weiter im Verständnis der Mechanismen der Wirkung schwacher elektromagnetischer Felder, sei es im NF-Bereich des Wechselstroms, sei es für die Frequenzen des Mobilfunks. Zu diesem Thema gab es auf der Konferenz keinerlei neue Ideen oder theoretische Ansätze. Da letztlich aber auch sichere experimentelle Belege für solche Effekte fehlen fragt man sich natürlich: Suchen wir im dunklen Raum die nicht existierende schwarze Katze?
- Das Bild der medizinischen Anwendung elektromagnetischer Felder zeigte sich wieder einmal sehr heterogen. Gegenüber den schnellen und solide fundierten Erfolgen diagnostischer Methoden, hauptsäch-

lich der NMI, sowie der Magnetstimulation und teilweise auch der Hyperthermie als fundierte Therapiemethoden, gibt es noch andere, prinzipiell zukunftssträchtige Verfahren, wie die Stimulation des Knochenwachstums durch PEMF, die jahrzehntelang dahin dümpeln, ohne den Durchbruch zum wissenschaftlichen Fundament, oder wenigstens zur therapeutischen Signifikanz erreicht zu haben. Von den leider auf dieser Konferenz reich vertretenen Lobby der Scharlatane, die bedauerlicherweise das eigentlich zukunftssträchtige Gebiet therapeutischer Anwendung elektromagnetischer Felder sehr in Misskredit ziehen, schweigt des Sängers Höflichkeit!

- Man sollte nach einer Konferenz nicht nur fragen: was war? sondern auch: was war nicht?

– Wo blieb zum Beispiel das Resultat der im vergangenen Jahr eine ganze Sektion gewidmeten Diskussion um die Blut-Hirn-Schranke? Das Problem ist nicht uninteressanter geworden. Die schwedische Gruppe um L.G. Salford hatte sich auf dem 23. Kongress im vergangenen Jahr in St.Paul trotz Vortragsanmeldung einer Diskussion entzogen, P.A. Mason versprach den Ergebnissen dieser Gruppe nachzugehen und demnächst über die Situation zu berichten. Warum hörte man diesmal über die Blut-Hirn-Schranke nur so am Rande?

– Wo war eigentlich M.H. Repacholi mit den längst zugesagten Reproduktionen seiner bis heute große Aufregung verbreitenden Studie aus dem Jahre 1997? War es nicht reproduzierbar? Dann wäre eine Mitteilung um so interessanter gewesen, zumal andere sich schon vergebens um Reproduktion bemüht hatten.

– In letzter Zeit sind eine ganze Reihe von Publikationen zur Expression von Hitzeschock-Proteinen unter dem Einfluß von HF-Feldern erschienen. Diese Problematik spielte auf der Konferenz leider nur eine sehr untergeordnete Rolle.

- Wie im vergangenen Jahr, so präsentierten auch diesmal die Japaner in starkem Maße ihre Untersuchungen zur Wir-

kung statischer Magnetfelder im 10T Bereich und darüber. Neben der Forschung zur Sicherheit der im Lande entwickelten diagnostischen NMR-Geräte, ist deutlich die biotechnologische Zielsetzung dieser Arbeiten zu erkennen. Es ist erstaunlich, dass dieses Thema nicht stärker von Gruppen anderer Länder bearbeitet wird.

Prof. Dr. Roland Glaser war Leiter des Instituts für Biophysik an der Humboldt-Universität Berlin.