

Medizinische, epidemiologische dosimetrie

Ein Tagungsbericht aus ärztlicher Sicht

Jörg Reißerweber

Auch diese 26. Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society (BEMS) lieferte in zahlreichen Vorträgen und Postern eine Fülle neuer Erkenntnisse für die Teilnehmer zur Frage der medizinisch-biologischen Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder aus dem Bereich der Energieversorgung sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder, die im Zusammenhang mit der Mobilkommunikation entstehen.

In diesem Teil des Tagungsberichts soll auf die ausführliche Besprechung der **therapeutischen Aspekte** elektromagnetischer Felder besonderer Wert gelegt werden, weil hier ein erfolgversprechendes Potential für die Zukunft zu liegen scheint. Somit werden diese in der Darstellung auch etwas mehr Raum einnehmen als die übrigen Befunde.

Sitzung 2: Epidemiologie

(Vorsitz: Leeka Kheifets, USA, und C. K. Chou, USA)

J. J. Morrissey, USA, sprach über die **Vergleichende Analyse von Hochfrequenzexposition durch Mobiltelefone an verschiedenen geografischen Standorten**.

Ziel sei es hier gewesen, die Exposition in Hochfrequenzfeldern von Motorola-Ingenieuren, die in verschiedenen geografischen Regionen der USA, Europas und Asiens lebten, zu kategorisieren und zu vergleichen, um mögliche gesundheitliche Risiken im Rahmen einer epidemiologischen Studie zu untersuchen. Damit sollte auch den Forschungsanstrengungen der Internationalen Krebsforschungsagentur IARC Rechnung getragen werden, die die Frage untersucht, ob das Verwenden von Mobiltelefonen einem potentiellen Karzinogen gleichkomme.

In diesem Rahmen wurden modifizierte sogenannte Dosimeter-Mobiltelefone entwickelt und weltweit den entsprechenden Test-Ingenieuren zugesandt. Je zwei Wochen lang wurde in der Folge das „Telefonierverhalten“ der Testpersonen bei einer Leistungsaufnahme der Handys bis zu 250 Milliwatt aufgezeichnet und zwischen den Regionen verglichen. Im Ergebnis zeigten sich signifikante Unterschiede der durchschnittlich transmittierten Leistungen. Dies deutet



Biologische und physiologische Aspekte

darauf hin, dass mögliche Variationen in ähnlicher Größenordnung zwischen ansonsten ähnlichen Gruppen von Mobiltelefonnutzern in weiteren epidemiologischen Studien zu erwarten sind.

S. L. Bell, England, referierte über **Wirkungen von GSM-Mobiltelefonen auf das menschliche Hörorgan: Methodischer Ansatz und vorläufige Ergebnisse.**

Das Ziel dieser vorläufigen Untersuchung war es, das experimentelle Vorgehen und die fortschreitenden Forschungsarbeiten des GUARD-Projektes darzustellen, das mögliche Änderungen des menschlichen Hörvermögens nach Exposition in niedrigenergetischer Strahlung darstellt, wie sie von GSM-Mobiltelefonen ausgehen. Zudem war es das Ziel, otoakustische Emissionen sowie Hirnstampfpotentiale abzuleiten. Methode: Verschiedene Individuen wurden verglichen (between-subject paradigm) aber auch intraindividuelle Vergleiche wurden angestellt (within-subject paradigm). Als Probanden verwandte man gesunde Freiwillige, die vor und nach der Nutzung eines kommerziell üblichen Handys doppelt-blind getestet wurden, wie oben beschrieben. Es wurden zwei Durchgänge veranstaltet, einmal mit einem echten Handy und einmal lediglich unter den Bedingungen der Scheinexposition; Einer Hälfte der Teilnehmer wurden 900 MHz bei 2 Watt und der anderen Hälfte 1800 MHz bei 1 W appliziert. Die Scheinexposition wurde mit einem Handy-Dummy durchgeführt. Die eigentliche Exposition und die Scheinexposition fanden an unterschiedlichen Tagen statt.

Im Ergebnis zeigte diese Pilotstudie, dass sowohl Studiendesign als auch Testprotokolle praktikabel

waren. Es gab keine Probleme bei der Registrierung oder dabei, die beiden Durchgänge des Versuches durchzuhalten. Die längste Sitzung dauerte etwa zwei Stunden. Alle Handys wurden vor Beginn des Experimentes getestet, nämlich die Leistungsaufnahme, die Frequenz sowie die räumliche Feldverteilung. Schlussendlich enthielten die vorläufigen Ergebnisse dieser Studie keinen Hinweis auf signifikante Feldeffekte bezüglich des Hörvermögens des Menschen, und zwar weder bei akuter noch bei chronischer Exposition.

J. D. Bowman, USA, referierte über **Methoden zur Bewertung beruflicher Expositionen in elektrischen und magnetischen Feldern im Rahmen der INTERPHONE-Studie zu Mobiltelefonen und Hirntumoren.**

Die INTERPHONE-Studie ist eine bevölkerungsgestützte Fall-Kontroll-Studie, die sich auf 13 Länder erstreckt. Zusätzlich zur Mobilfunkstrahlung wird von den Interviewern dabei auch nach bekannten Risikofaktoren für Hirntumore, Speicheldrüsentumore oder Akustikusneurinome gefragt. Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip aus der Allgemeinbevölkerung gezogen und alters- und geschlechtsbezogen den entsprechenden Fällen zugeordnet. Methodik: alle beteiligten Zentren halten sich an einen gemeinsam vereinbarten Untersuchungskodex. Jeder Teilnehmer hatte computerunterstützt einen persönlichen Fragebogen auszufüllen.

Für die Exposition wurden sechs verschiedene Frequenzbänder ausgewählt mit möglicherweise unterschiedlicher biologischer Wirkung: ELF, VLF-LF, MF-HF kleiner als 10 MHz, HF größer als 10 MHz, VHF und UHF. Indem die berufliche Exposition mit den Antwort-

ten auf den Fragebögen verbunden wurde, war es möglich, wichtige Rückschlüsse auf die individuelle berufliche Feldexposition und das hauptsächlich jeweils betroffene Frequenzband zu ziehen und die individuelle Feldsituation individuell zu berechnen. Im Zwischenergebnis zeigte sich, dass bislang 5.767 Fälle und 2.364 Kontrollen interviewt worden waren. Mit den zu erwartenden rund 10.000 Teilnehmern stellt die INTERPHONE-Studie die umfangreichste je durchgeführte Fall-Kontroll-Studie zum Thema EMF und Krebs im Frequenzbereich der Mikrowellen und darunter dar und bietet die noch nie da gewesene Möglichkeit, erstmalig klären zu lassen, wie die reale berufliche Feldexposition in 13 Industrienationen aussieht. Dabei werden neben den Mobilfunkfrequenzen auch die Frequenzen des induktiven Erwärmens mit in die Untersuchung einbezogen.

M. A. Kelsh, USA, machte Ausführungen über die Verbesserung der Bewertung von Expositionen in Hochfrequenzfeldern innerhalb epidemiologischer Studien an Mobiltelefonnutzern: ein Überblick über das Forschungsdesign sowie vorläufige Daten.

Ziel dieser Pilotstudie, die in Kooperation mit Prof. Kusters Institut ITIS in Zürich durchgeführt wurde, war es, für künftige epidemiologische Studien verlässliche Näherungsmethoden zur Berechnung von Hochfrequenzfeldexpositionen zu entwickeln.

Methodisch bestand die vorliegende Studie aus vier erfassten Expositions-kategorien:

- 1) Eigenschaften des Nutzers z. B. die Anatomie betreffend: Körpergröße, Gewicht, das Tragen einer Brille mit Metallrand oder das Tragen von Schmuck;
- 2) technische Charakteristika des Mobiltelefons, z. B. Provider, Frequenzbereich, Antennentyp, Position des Handys etc.;
- 3) Umweltfaktoren wie Dichte der Mobilfunkbasisstationen, Nutzung des Handys innerhalb oder außerhalb von Gebäuden, das verwendete Baumaterial, Uhrzeit des Telefonats, etc.;
- 4) Dauer und Häufigkeit der Nutzung (also das persönliche Verhalten des Nutzers, wie z. B. Gesprächshäufigkeit, Umstände des Gesprächs); Im Ergebnis zeigte sich, dass die 215 Teilnehmer durchschnitt-

lich 5 Anrufe täglich tätigten (mit einer durchschnittlichen Dauer von 15,5 Minuten). Man plant, die Daten dieser Vorstudie als Grundlage für künftige ausgedehntere epidemiologische Studien zu verwenden.

G. G. Neubauer, Österreich, sprach über die Machbarkeit künftiger epidemiologischer Studien über mögliche gesundheitliche Wirkungen von Mobilfunkbasisstationen.

Hintergrund dieser Machbarkeitsstudie war es, für die weltweit 1 Milliarde betroffenen Menschen (und europaweit 400 Millionen betroffenen Menschen) Gesundheitsrisiken zu klären, die möglicherweise mit dem Wohnen im Nahbereich von Mobilfunkbasisstationen zusammenhängen könnten. Diese Voruntersuchung ist umso bedeutender, als die Exposition in hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auch weiterhin zunehmen wird – nicht zuletzt aufgrund des UMTS-Booms und weiterer neuer Entwicklungen.

Methodisch will man hier dreiteilig vorgehen:

- Analyse des Designs bisheriger epidemiologischer Studien
- Vergleich und Analyse dosimetrischer Konzepte
- Veranstaltung von Experten-Workshops

Im Ergebnis erwartet man sich neue Aufschlüsse besonders über gesundheitliche Aspekte des Mobilfunks (Befindlichkeit, allgemeiner Gesundheitszustand).

O. P. Molchanova, Ukraine, erläuterte Ein neues Konzept für die Risikobewertung und das Risikomanagement von Wirkungen der Exposition in Hochfrequenzfeldern auf der Grundlage der Fuzzy-Logik.

Ziel dieser Studie sei es, einen neuen Ansatz zur Risikobewertung von Hochfrequenzfeldern hinsichtlich verschiedener Aspekte der menschlichen Gesundheit unter Einbeziehung eines Neuro-Fuzzy-Netzes, das auf der Theorie von L. Zadeh basiere, zu schaffen. Dabei werde das Wissen über Beziehungen zwischen der Hochfrequenzexposition (Expositionsbedingungen) und bewiesenen Gesundheitsgefahren aus der Literatur gesammelt und in einem zweiten Schritt in ein hierarchisch gegliedertes Ursachen-Wirkungsgefüge eingebaut.

Das Fuzzy-Netz hat folgende Vorteile: es beinhaltet die Grenzwerte für einen großen Frequenzbereich, es berücksichtigt mehrere Sicherheitsfaktoren, es formalisiert das Expertenwissen über bewiesene und hypothetische Gesundheitsgefahren, es ermöglicht künftige Verbesserungen der Risikobewertung, indem neue Daten in das System eingegeben werden, es erlaubt das Gewinnen neuer Erkenntnisse aus dem System, die nur durch die Anwendung der Neuro-Fuzzy-Logik möglich werden.

Sitzung 3: Therapie mit elektromagnetischen Feldern

(Vorsitz: Art Pilla, USA, und Gabi Nindl, USA)

M. L. Rohan, USA, referierte über die Antidepressive Wirkung von Niederfrequenzfeldern mit großen Feldstärken im Bereich der Kernspintomografie.

Ziel dieser vom medizinischen Standpunkt aus hoch interessanten Untersuchung war es, die Wirkungen von elektromagnetischen Feldern, wie sie in Kernspintomografen (NMR) vorkommen, auf die Stimmungslage von Patienten zu untersuchen, die unter bipolaren Depressionen leiden.

Methodik: 54 Personen, von denen 40 an einer bipolaren Depression litten und 14 gesund waren, nahmen an der Studie teil. 30 bipolar depressive Patienten wurden mit dem NMR untersucht und 10 bipolar depressive Patienten unterzogen sich lediglich einer Scheinexposition im NMR-Gerät. Auch die 14 gesunden Personen unterzogen sich der NMR-Untersuchung, nach deren Abschluss bei allen Versuchspersonen jeweils die Stimmungslage mit einem Fragebogen abgefragt wurde.

Im Ergebnis zeigte sich, dass 23 der 30 bipolaren Versuchspersonen, die eine NMR-Untersuchung erhalten hatten, 3 der 10 bipolaren Personen, die eine Scheinexposition erhalten hatten, und 4 der 14 ge-

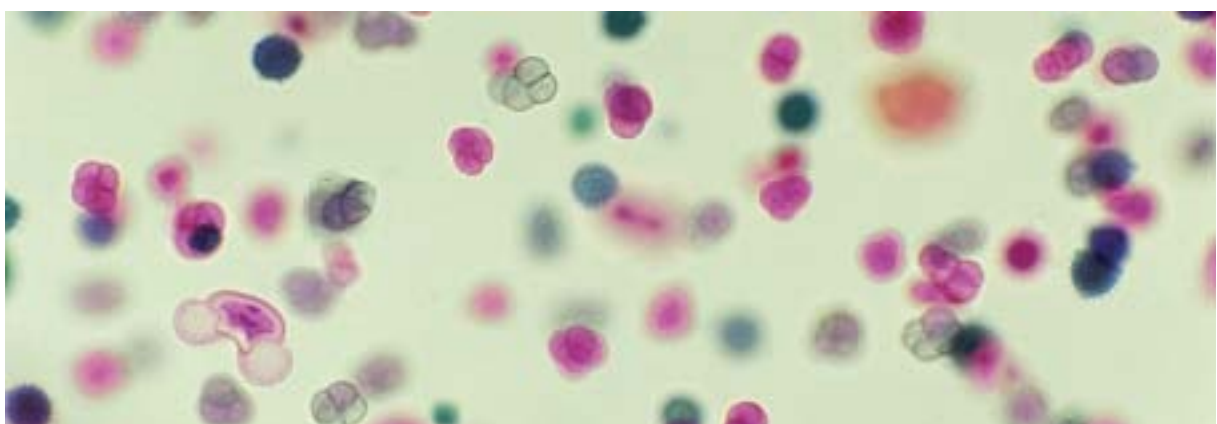
sunden Kontrollpersonen mit NMR-Untersuchung danach über eine Stimmungsaufhellung berichteten. Fazit: Dieser unerwartete Effekt sei möglicherweise auf die Interaktion der Felder mit Schaltkreisen im Nervensystem zurückzuführen. Weitere Studien seien geplant.

J. R. Salvatore, USA, sprach über die Möglichkeit, dass Statische Magnetfelder die Wirkung von Chemotherapie bei der Behandlung maligner Tumoren modifizieren können.

Hier sei es darum gegangen, die Krebsbehandlung mit Hilfe statischer magnetischer Gleichfelder zu optimieren. In dieser Phase-I-Studie sollte die Behandlung von Tumoren des Menschen mit einer Kombination von statischen Magnetfeldern und Chemotherapie untersucht werden.

Methodik: Es wurden Teilnehmer ausgewählt, die vor einem Chemotherapie-Programm bei fortgeschrittenem Krebs standen. Vor Beginn der Therapie wurde ein statischer Magnet über der Leber des Patienten platziert, und zwar für folgende Zeiträume: 15 Minuten lang vor Beginn der Chemotherapie, sodann während der Gesamtdauer der Chemotherapie und schließlich je nach Gruppe alternativ bis 0 Minuten, 15 Minuten oder 30 Minuten nach Ende der Chemotherapie. In jeder Gruppe gab es 12 auswertbare Individuen, die hinsichtlich ihrer Krankengeschichte, körperlichen Untersuchungsergebnisse und Bluttestergebnisse überwacht wurden. Die erhaltenen Daten wurden entsprechend den Kriterien des National Cancer Institute bewertet.

Im Ergebnis zeigte sich, dass – je länger das Magnetfeld appliziert wurde – desto stärker der schützende Effekt auf die Leber in bezug auf einige schädigende Nebenwirkungen der Chemotherapie ausfiel. In diesem Zusammenhang wurde auch der Schweregrad



der Blutbildveränderungen durch das Magnetfeld entsprechend reduziert, je länger das Magnetfeld nach Ende der Chemotherapie eingeschaltet blieb.

Schlussfolgerung dieses erfolgversprechenden Forschungsansatzes: Da die Phase-I-Studie erfolgreich verlaufen sei, die zum Ziel hatte, die Sicherheits- und Toxizitätsaspekte dieses neuen therapeutischen Verfahrens zu untersuchen, werde der nächste Schritt nun darin bestehen, auch die Effektivität dieser Kombinationstherapie aus Magnetfeldapplikation und Chemotherapie in weiteren Studien zu untersuchen und zu optimieren.

M. Brantley, USA, berichtete über die **Reduktion von Muskel- und Faszienbeschmerz an speziellen Triggerpunkten durch statische Magnetfelder.**

Ziel dieser ebenfalls spannenden Studie (randomisierte doppelblinde klinische Studie) sei es gewesen, das therapeutische Potential statischer Magnetfelder hinsichtlich der Wirksamkeit bei Schmerzen im Muskel und Fasziensbereich (myofaszialer Schmerz) zu testen.

30 Personen wurden zufällig der Behandlungsgruppe (14 Personen) oder der Scheinexpositionsgruppe (16 Personen) zugeteilt. Im Doppelblindversuch wurde sodann an einem speziell definierten myofaszialen Triggerpunkt mit einem künstlich erzeugten Druckschmerz an der Haut jeweils getestet, welcher maximale Schmerz gerade eben noch tolerierbar war. Zudem mussten die Teilnehmer einen speziell entwickelten Schmerz-Fragebogen der McGill-Universität ausfüllen.

Im Ergebnis weist die vorliegende Studie darauf hin, dass statische Magnetfelder einer Flussdichte von 50 mT in der Lage sind, nach 45-minütiger Behandlung eine Schmerzreduktion an den myofaszialen Triggerpunkten bei entsprechenden Patienten zu bewirken. Dies steht in Einklang mit Befunden aus einer Veröffentlichung Vallbonas aus dem Jahr 1997 an Patienten, die eine Kinderlähmungsbehandlung hinter sich gebracht hatten. Dort hatte man gefunden, dass therapeutisch eingesetzte statische Magnetfelder positive Effekte im Sinne einer Schmerzreduktion zeitigen können.

S. Setti, Italien, sprach über **Die Wirkung von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf die experimentell erzeugte degenerative Osteoarthritis (Knochen- und Gelenkentzündung).**

Ziel dieser Studie sei es gewesen, im Tierversuch an Guinea-Schweinen einer bestimmten Züchtung die Wirkungen gepulster elektromagnetischer Felder auf die Degeneration des Gelenkknorpels zu untersuchen, an Tieren also, die spontan mit zunehmendem Alter eine Osteoarthrose entwickeln.

10 Dunkin-Hartley Guinea-Schweine im Alter von 12 Monaten wurden der Studie unterzogen. Jedes ruhte in einem Käfig mit einer Spule am Boden. Fünf der Tiere wurden in der Folge mit gepulsten Magnetfeldern einer Frequenz von 75 Hz und einer Flussdichte von 1.8 mT stimuliert – und zwar über drei Wochen hinweg für Zeiträume von sechs Stunden pro Tag bis zur Schlachtung. Die Kniegelenke der Tiere wurden dann mittels Mikroradiographie genau untersucht.

Die Ergebnisse demonstrieren, dass bei allen Tieren eine Degeneration des Gelenkknorpels auftrat. Während bei den meisten Sektionen Zeichen der Gelenkknorpeldegeneration zu beobachten waren, konnte man zudem einen deutlichen Unterschied zwischen Behandlungsgruppe und Kontrollgruppe feststellen. Die Ergebnisse scheinen zu zeigen, dass die Exposition in gepulsten Magnetfeldern die Knorpeldegeneration zu reduzieren scheint und somit das Potential zu einer stimulierenden Wirkung hat.

A. W. Thomas, Kanada, erläuterte **Die Möglichkeit, mit Hilfe spezifisch gepulster schwacher Magnetfelder gesundheitliche Effekte zu erzielen:** nämlich zum

einen im Tierversuch eine Schmerzreduktion zu erreichen und zum anderen solche positiven Effekte bei Fibromyalgie-Patienten im plazebokontrollierten Doppelblind-Versuch nachzuweisen.

Hintergrund: Eine der am stärksten reproduzierbaren Wirkungen von extrem niederfrequenten Magnetfeldern ist der Effekt auf Verhaltensweisen, die mit dem Gehirnstoffwechsel der endogenen Opiate in Zusammenhang stehen. Es wurde gezeigt, dass ein spezifisch gepulstes niederfrequentes Magnetfeldmuster eine Schmerzlosigkeit bei Schnecken, Nagetieren und



gesunden menschlichen Probanden hervorrufen kann. In einer doppelblinden plazebokontrollierten Studie sollte die Wirkung einer 30-minütigen Magnetfeldexposition einer Flussdichte von unter 400 Mikrottesla auf die Schmerzbeurteilung bei Fibromyalgie-Patientinnen untersucht werden.

Methodik: Fibromyalgie-Patientinnen, die an einer Schmerzbehandlungsstudie im Krankenhaus teilnahmen, wurden 30 Minuten lang behandelt. Sie füllten den McGill-Schmerzfragebogen aus sowie Analog-Skalen zur Testung von Schmerz und Ängstlichkeit. Muskelspannung und Herzfrequenz wurden während der gesamten Experimente fortlaufend registriert, um mögliche physiologische Korrelate zur Magnetfeldexposition zu finden.

Im Ergebnis zeigte sich, dass bei Auswertung und Analyse wiederholter Messungen ein signifikanter Effekt im Vergleich vor und nach der Magnetfeldexposition auftrat.

Die Ergebnisse bestätigen somit frühere Befunde, wonach die Exposition in einem spezifischen gepulsten Magnetfeld einen signifikanten Grad von Analgesie, also Schmerzlosigkeit ermöglicht. Die mit Magnetfeldtherapie zu beobachtenden deutlich niedrigeren angekreuzten Werte in der Schmerzskala weisen auf die nicht unerhebliche klinische Bedeutung dieser neuen Therapieform zur Schmerzreduktion bei Fibromyalgie-Patientinnen und somit auch -Patienten hin.

L. C. Kloth, USA, referierte über Wunddesinfektion und antibakterielle Effekte von Ultraschall bei einer Frequenz von 25 kHz.

Ziel dieser Studie sei es gewesen, die antibakterielle Wirksamkeit von Ultraschall von 25 kHz zu untersuchen, weil chronische Wunden des Menschen nach wie vor ein enormes auch volkswirtschaftliches Problem darstellen. Gängige Methoden der Versorgung chronischer Wunden wie diejenigen mit Hilfe von bakteriellen Enzymen oder die chirurgische Ausräumung von eitrigem Material etc. haben jeweils Vor- und Nachteile. Nachteil ist häufig die nur sehr langsame oder inkomplette Entfernung des abgestorbenen, also nekrotischen Gewebes. Umgekehrt kann die sogenannte Ausräumung von Eiterherden mit dem „scharfen

Löffel“ tief im gesunden Gewebe zu ausgedehnten Blutungen führen oder auch eine Anästhesie erfordern. Zudem wird dabei häufig das nekrotische fibrinöse Material nicht vollständig entfernt. Hier kann die Ultraschall-Therapie eine sinnvolle Alternative zur konventionellen Wundbettbehandlung und -desinfektion darstellen.

Denn bei einer Frequenz von 25 kHz des applizierten Ultraschalls können sehr kleine Gasbläschen im Gewebe gebildet werden, die ihrerseits dann nekrotisches Wundmaterial in der Folge auflösen können. Dieser als Mikrokavitation bezeichnete Effekt sollte nun auch in vitro hinsichtlich seiner Wirkung auf Bakterien getestet werden.

Im Ergebnis zeigte sich, dass Ultraschall bei einer Frequenz von 25 kHz in Minutenschnelle seine fibrinolytischen Effekte durch selektives Zerstören des nekrotischen Fibrins bewerkstelligt, ohne dass gesunde Zellen oder gesundes Gewebe geschädigt werden. Bakterizide, also Bakterien abtötende Effekte waren abhängig von der Ausgangsenergie des Ultraschalls und der Expositionszeit, wobei der stärkste abtötende Effekt bei einer Expositionsdauer von 120 Sekunden lag. Jedoch erwiesen sich beispielsweise auch schon nach einer Expositionsdauer von 60 Sekunden 15 von 16 Kulturplatten als steril.

T. Sorimachi, Japan, berichtete über Eine grundlegende Studie zu den Wirkungen von schwachem gepulstem Ultraschall (LIPUS) auf die Knochenbildung.

Ziel sei es gewesen, die Produktion des Interleukin-6 und des vaskulären endothelialen Wachstumsfaktors (VEGF) im Knochenstoffwechsel zu untersuchen – und zwar vergleichend mit und ohne Anwendung von schwachem gepulstem Ultraschall auf eine Kultur von Osteoblasten-ähnlichen Zellen der Linie MC3T3-E1.

Im Ergebnis zeigte sich, dass die Hochregulierung von Interleukin-6 nach 60-minütiger Applikation einen Spitzenwert erreichte und bis zu 24 Stunden lang andauerte. Weiterhin wurde beobachtet, dass VEGF mit zunehmender Zeitdauer anstieg. Es ergaben sich auch Hinweise dafür, dass nicht nur die Knochenbildung, sondern auch die Vaskularisierung durch die Ultraschallanwendung beschleunigt wurden. Fazit: Der gepulste schwache



Ultraschall stimulierte frühzeitig die Knochenbildung, die Knochenresorption sowie die Vaskularisierung.


M. T. Johnson, USA, hielt einen Vortrag über **Die Mechanismen und das therapeutische Potential von nichtionisierenden Strahlen**.

Magnete, elektrische Ströme und zeitlich veränderliche Magnetfelder spielen seit einigen Jahren in der Humanmedizin eine gewisse Rolle. Die moderne klinische Medizin wäre beispielsweise ohne Herzschrittmacher oder Knochenwachstumsstimulatoren, Kernspintomografen oder Geräte zur elektrophysiologischen Diagnostik weit weniger effektiv.

In diesem Vortrag wurde ein Überblick gegeben über die Charakteristika natürlicher und künstlicher elektromagnetischer Felder, die in verschiedenen Bereichen gegenwärtig entweder schon angewandt werden oder sich noch im Stadium der Forschung befinden. Dies sei Grundlage für die Entwicklung innovativer Therapiemethoden auf elektromagnetischer Basis. Obwohl das Bewusstsein alternativer und komplementärer Medizin in einigen Kulturen seit Jahrhunderten existiere, sei das Interesse daran nochmals in letzter Zeit angestiegen, insbesondere, was die Schmerzbehandlung, die Krebstherapie und die Epilepsiebehandlung betreffe sowie die Behandlung von entzündlichen Erkrankungen wie Psoriasis, Sehnenentzündung oder rheumatoider Arthritis.

Letztere Erkrankungen würden hinsichtlich ihrer Behandelbarkeit durch elektromagnetische Felder gegenwärtig intensiv erforscht. Man habe dabei die Arbeitshypothese entwickelt, dass einige elektromagnetische Signale klinisch relevante entzündungshemmende Eigenschaften besitzen, die auf der Downregulation von T-Lymphozyten beruhen (wobei die T-Lymphozyten physiologischerweise durch den T-Zell-Rezeptor während der Entzündung aktiviert werden). Die weitere Erforschung dieser Hypothese könne künftig möglicherweise die Basis für die Entwicklung von therapeutischen Instrumenten zur nichtinvasiven Behandlung entzündlicher Erkrankungen liefern.

Dieser besonders interessante und vielversprechende pathophysiologische Ansatz soll im folgenden an-



hand des Vortrages von **G. Nindl** et al. von der gleichen Arbeitsgruppe (Indiana University School of Medicine in Terre Haute) über **Die Wirkung von Wasserstoffperoxid auf Jurkat-T-Zellen und seine Regulation durch niederfrequente elektromagnetische Felder (Vortrag 9-1)** im Detail dargestellt werden: Während Wasserstoffperoxid und weitere reaktive Sauerstoffspezies bislang als ausschließlich zellschädigend galten, wurde man sich erst in jüngster Zeit klar darüber, dass diese kleinen Moleküle auch wichtige positive Funktionen als Signalmoleküle innerhalb bestimmter Zellen wie z. B. T-Lymphozyten ausüben können. Möglicherweise wird man es auf diese Weise künftig nicht-invasiv durch die Applikation elektromagnetischer Felder erreichen können, dass die Aktivität von Entzündungszellen reguliert werden kann und somit möglicherweise akute und chronische Entzündungen des Menschen besser zu behandeln sein werden. Entscheidend wird es hierbei allerdings sein, die Wirkungen von Wasserstoffperoxid auf biophysikalischem Wege regulieren zu lernen. Gelingt dies, so wird es sicherlich möglich sein, neuartige Wege der Behandlung von entzündlichen Erkrankungen zu beschreiten. Das erste Ziel der Forschergruppe aus dem US-Bundesstaat Indiana war es hier also zu prüfen, ob Wasserstoffperoxid in der Lage ist, die Signaltransduktion durch den T-Zell-Rezeptor in Jurkat-Zellen zu erweitern. Da zweitens T-Zell-Rezeptoren Aminosäuresequenzen enthalten, die für die antikörperkatalysierte Wasserstoffperoxidproduktion wichtig sind, war es auch ein Ziel herauszufinden, ob T-Zell-Rezeptoren Wasserstoffperoxid produzieren, wenn sie mit anti-CD3 und PMA aktiviert werden. Schließlich war es ein Ziel zu bestimmen, ob elektromagnetische Felder wasserstoffperoxid-abhängige physiologische Wirkungen regulieren und modifizieren können. Methodisch ging man folgendermaßen vor: Jurkat E6.1, eine menschliche T-Lymphozyten-Zell-Linie, wurde mit anti-CD3 und Phorbolmyristat (PMA) versetzt. Sodann wurde die Menge an Interleukin-2, die in das Kulturmedium sezerniert wurde, durch ein ELISA-Verfahren auf elektrochemischem Wege gemessen, wobei eine kürzlich entwickelte Wasserstoffperoxid-Elektrode Verwendung fand. Die elektrochemischen Er-

gebnisse wurden anhand des Wasserstoffperoxidindikators Amplex Red überprüft. Dabei wurden Wasserstoffperoxid-abhängige Farbänderungen des Amplex Red quantifiziert und aufgezeichnet, wobei ein Bio-ek EL 808-Plattenlesegerät zum Einsatz kam. Der programmierte Zelltod wurde in der Folge registriert. Bei den initialen Experimenten wurde ein Feldgenerator der Firma EMF Therapeutics verwendet, der ein mit 120 Hz gepulstes Magnetfeld der Flussdichte 15 mT erzeugte. In späteren Experimenten wurde dann ein neu entwickelter Feldgenerator verwendet.

Ergebnisse und Diskussion: Um die biologische Wirkung von Wasserstoffperoxid zu evaluieren, wurden aktivierte Jurkat-Zellen einer Konzentration von 0 bis 80 Mikromol Wasserstoffperoxid ausgesetzt. Dabei fand man, dass Konzentrationen von 40 bis 60 Mikromol dieses Stoffes eine optimale Interleukin-2-Produktion ermöglichten, was proportional zur Zellzahl war. Im Gegensatz dazu schränkte das Wasserstoffperoxid in nicht-aktivierten Kontrollzellen das Zellwachstum ein, löste den programmierten Zelltod aus und hatte keine Wirkung auf die Interleukin-2-Produktion.

Diese bemerkenswerten Ergebnisse zeigen, dass das Wasserstoffperoxid bei aktivierten Jurkat-Zellen, die ein Modell der Entzündungs-T-Zellen darstellen, die zellulären Folgereaktionen der Aktivierung am T-Zell-Rezeptor stimuliert. Im Gegensatz dazu wurde Wasserstoffperoxid lange Zeit als Zellgift betrachtet und bei normal wachsenden, aber nicht aktivierten Jurkat-Zellen fand man auch, dass Wasserstoffperoxid seine bekannten toxischen Wirkungen entfaltete.

In früheren Experimenten scheint es so gewesen zu sein, dass elektromagnetische Felder die Interleukin-2-Produktion von Jurkat-Zellen herunterregulierten. Auf der Basis von ähnlichen Aminosäuresequenzen zwischen Antikörpern und den T-Zell-Rezeptoren vermutete man, dass die T-Zell-Rezeptoren möglicherweise katalytisch Wasserstoffperoxid produzieren. Dies könnte dann als autokriner Faktor für die Regulation der T-Zell-Aktivität dienen. Um diese Möglichkeit zu testen, wurde ein Realtime Überwachungssystem für Wasserstoffperoxid mit einer Elektrode entwickelt, das in der Lage ist, bis zu 1 Mikromol Wasserstoffperoxid

zu detektieren. Bei Verwendung des CD3-Antikörpers als Katalysator wurde das System validiert. In diesen Experimenten fand man, dass Wasserstoffperoxid mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 nanoMol pro Minute und millimol CD-3-Antikörper umgesetzt werde. In früheren Experimenten habe man beobachten können, dass die Umsatzrate, die durch den CD3 Antikörper katalysiert werde, von elektromagnetischen Feldern abzuhängen scheine. Die wachsende Datenfülle sei vielversprechend, was neue Einblicke in den Mechanismus der Interaktionen zwischen elektromagnetischen Feldern und Biomolekülen betreffe. Nachdem nun die Nützlichkeit der Wasserstoffperoxid-Elektrode demonstriert worden sei, wurde die Elektrode nun verwendet, um die Wasserstoffperoxid-Produktion durch intakte Jurkat-Zellen sowie durch Membranpräparationen von Jurkat-Zellen zu untersuchen, die mit T-Zell-Rezeptoren angereichert worden seien. Man habe gefunden, dass die angereicherten Membranpräparationen aktiv die Wasserstoffperoxid-Produktion katalysieren. Dies weise darauf hin, dass es sich beim Wasserstoffperoxid um einen autokrinen Faktor der T-Zellen handle, also um einen Faktor, der von den T-Zellen selbst als Botenstoff (für die Übermittlung von Nachrichten von Zelle zu Zelle) hergestellt werde. Da nun die Wasserstoffperoxid Katalyse durch Antikörper von elektromagnetischen Feldern abhängig zu sein scheint, vermutet man, dass solche Felder auch die Wasserstoffperoxid-Produktion in diesen Systemen beeinflussen werden und entsprechend die Wasserstoff-Peroxid-abhängige Signaltransduktion innerhalb intakter Zellen. So wird entsprechend diesem physiologischen Mechanismus eine positive Beeinflussung des entzündlichen Geschehens durch Feldeinwirkung plausibel.

Sitzung 8: Biophysikalische und biologische Dosimetrie I

(Vorsitz: Frank Prato, Kanada, und Jim Weaver, USA)

Vijayalaxmi, USA, erläuterte **Gentoxische Effekte bei Mäusen unter der Einwirkung von Millimeterwellen**. Ziel war es herauszufinden, ob die Exposition in Millimeterwellen gentoxische Effekte hervorrufen könne oder die gentoxischen Effekte von Cyclophosphamid,

einem Chemotherapeutikum, das bei vielen Tumoren Verwendung finde, zumindest modifizieren könne. Im Ergebnis fand man keinen Hinweis auf eine irgendwie geartete gentoxische Wirkung von Millimeterwellen – weder im peripheren Blut noch in Knochenmarkstammzellen. Ebenso wenig wurde dadurch eine vermehrte Bildung von Mikrokernen in den roten Blutkörperchen angeregt.

F. Thoss, Deutschland, sprach über **ein Modell zur Erklärung eines Zusammenhangs zwischen dem Erdmagnetfeld und der Lichtempfindlichkeit des visuellen Apparates**.

Ziel war es, ein wissenschaftliches Modell, das den Zusammenhang zwischen dem Erdmagnetfeld und visuellem System beschreibt und die von diesem abgeleiteten Aussagen zu überprüfen. Es zeigte sich, dass ein Einfluss schwacher magnetischer Felder auf den visuellen Prozess beim Menschen nachweisbar ist. Man vermutet, dass dieser Einfluss der Orientierungsfähigkeit von Tieren im Magnetfeld der Erde zugrundeliegt.

O. P. Gandhi, USA, referierte über den **Vergleich der Standardabsorptionsraten von Spitzenwerten und Standardabsorptionsraten (gemittelt über 10 Gramm) für ein Standardmenschennmodell (Specific Anthropomorphic Mannequin) unter Exposition mit Hochfrequenzfeldern bei 835 MHz und 1900 MHz**.

Getestet werden sollten hier verschiedene Kopfmodelle zur Untersuchung der Frage, ob letztere bei 835 MHz und 1900 MHz in der Lage sind, sowohl für europäische als auch für US-amerikanische Verhältnisse zur Ermittlung der jeweiligen Standardabsorptionsrate SAR von neu zuzulassenden Geräten und somit zur Überprüfung der Einhaltung der entsprechenden nationalen Grenzwerte durch diese zu dienen. Dabei wurde jeweils die Position des entsprechenden Handys sowohl an der Wange des Kunstkopfes anliegend als auch in einer um 15° von der Wange abgewinkelten Position getestet.

Untersucht wurden das Visible Man Model und das Utah Anatomic Model jeweils bei einer axialen Antennenlänge von 20 mm bzw. 40 mm. In tabellarischer

Form wurden sodann sowohl die 1-g- als auch die 10-g-Spitzen-SAR-Werte aufgetragen. Im Ergebnis zeigte sich, dass zwischen den europäischen und US-amerikanischen Kopfmodellen beträchtliche Unterschiede existieren. Auf entsprechende technische Unterschiede zwischen den Modellen wird im entsprechenden Abstract detailliert eingegangen.

P. A. Mason, USA, gab einen Überblick über die Forschung auf dem Gebiet der Radiofrequenz-Dosimetrie im Bereich der US-amerikanischen Air Force.

Exakte Dosismessung ist ein entscheidender Teil jeder wissenschaftlichen Bemühung, bei der es darum geht, die Effekte elektromagnetischer Felder auf biologische Systeme zu erfassen und zu bewerten. Weiterhin ist aber auch eine hochentwickelte Dosimetrie entscheidend für die Replikation fraglicher Befunde in weiteren unabhängigen Labors. Die Dosimetrie beinhaltet auch die Entwicklung entsprechender anatomischer und mathematischer Modelle. In der vorliegenden Studie wurde ein Menschenmodell verwandt, das von der US-Navy und der US Air Force entwickelt worden war.

Ziele: 1) Es sollte eine Objektorientierung im Feld ermöglicht werden; 2) Es sollte die Verwendung von Ganzkörper- oder Teilkörpermodellen ermöglicht werden. Da die Validierung von Dosimetrie-Modellen für das Tier kaum oder nur schwierig auf Menschen übertragbar sind, wurde auch für Tiere ein spezielles Modell für den Vergleich mit am Tier erhobenen empirischen Daten entwickelt. Eine gute Übereinstimmung zwischen den theoretischen und empirisch gefundenen Daten am Tier spricht für die Gültigkeit der am Menschenmodell erhobenen SAR-Werte. Der Abgleich des Computermodells mit empirisch gewonnenen Ergebnissen und die anschließende Verfeinerung des Modells sind entscheidend für die künftige Erhebung weiterer Erfahrungswerte, die zur Gewinnung neuer Expositionsgrenzwerte erforderlich sind.

A. A. Pilla, USA, erläuterte Anforderungen an die EMF-Dosimetrie im Bereich der physiologisch (und damit gesundheitlich) signifikanten und somit relevanten Effekte.

Vorbemerkung: Schwache elektromagnetische Wechselfelder haben ebenso wie gepulste magnetische Wechselfelder und magnetische Gleichfelder bzw. Ultraschall therapeutische Effekte. Zumindest können sie als zusätzliche Therapie bei Erkrankungen des muskuloskelettären Systems in Betracht kommen und zum Teil große Bedeutung erlangen. In dieser Präsentation sollten die Hintergründe dafür beleuchtet werden.

Im Ergebnis fand man in dieser Analyse deutliche Hinweise dafür, dass für den Fall, dass die Bindung zwischen Ionen und Liganden mit bekannter Bindungskinetik den feldempfindlichen Teil darstellt, dann auch entsprechende Feldmuster abgeleitet werden können, um einen adäquaten physiologisch bedeutsamen biologischen Effekt zu erreichen. Dies könnte erklären, warum viele der Signalvarianten aus dem Bereich des Ultraschalls und der gepulsten Magnetfelder – ebenso wie relativ schwache statische Magnetfelder – anscheinend bedeutsame klinische Wirkungen zeitigen können.

Sitzung 10: Instrument und Methoden

(Vorsitz: Joe Bowman, USA, und Asher Sheppard, USA)

J. Wilén, Schweden, erläuterte ein Expositionssystem für eine Provokationsstudie mit Mobilfunksignalen.

Es wurde versucht eine umfassende Beschreibung des Expositionssystems für eine Provokationsstudie mit Personen zu liefern, die über gesundheitliche Beschwerden im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen berichten. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Energie, die von den Antennen ausgeht, relativ homogen ist und über das gesamte Areal verteilt wird, auf dem herkömmliche Mobiltelefone ihre Energie abstrahlen.

D.-S. Yoo, Korea, stellte ein Halb-automatisiertes Bildverarbeitungssystem zur Simulation von EMF-Einwirkung an Modellen des menschlichen Körpers vor. Ziel dieser Untersuchung war es, ein halbautomatisiertes System zur Verarbeitung von Bildern aus dem menschlichen Körper zu entwickeln. Es soll leicht bearbeitbar sein für Personen, die Grundkenntnisse über die Anatomie des menschlichen Körpers und in der Bildverarbeitung besitzen.

L. Sandrini, Italien, berichtete über **Die gemittelte Ganzkörper-Standard-Absorptionsrate - ein rechnerischer Vergleich zwischen Mann und Frau**. Ziel war es hier, zum einen ein dielektrisches Modell des weiblichen Körpers zu entwickeln, zum zweiten, die SAR-Verteilungen von männlichen und weiblichen Körpermodellen zu vergleichen, und zum dritten einen neuen Algorithmus darauf anzuwenden. Im Ergebnis zeigte der Vergleich von männlichen und weiblichen Körpermodellen, dass die gefundenen Unterschiede der Ganzkörper-SAR-Werte teilweise auf unterschiedliche anatomische Konformationen und Gewebezusammensetzungen, z. B. im Unterhautfettgewebe, zurückzuführen sind.

M. T. Tsai, Taiwan, hielt einen Vortrag über **Ein neues System gepulster elektromagnetischer Feldstimulation für die Anzüchtung von Knochengewebe im Bioreaktor**.

Ein hochentwickelter Stimulator zur Applikation gepulster elektromagnetischer Felder wurde mit einem modifizierten Bioreaktor kombiniert, um damit im in-vitro-Versuch die Beschleunigung des Wachstums von Osteoblasten zu untersuchen, sichtbar auch an der gesteigerten Aktivität der alkalischen Phosphatase unter Magnetfeldstimulation. Im Ergebnis zeigte sich, dass man auf diese Weise erfolgreich die therapeutischen Wirkungen von gepulsten elektromagnetischen Feldern nachweisen kann. Es ergab sich eine verstärkte Differenzierung von Osteoblasten im Bioreaktor. Auf diese Weise können auch neue Erkenntnisse zur Prävention und Behandlung der Osteoporose gewonnen werden.

D. Spät, Schweiz, referierte über **Eine effektive Auswertung der realen Exposition in Handy-typischen Feldern verschiedener Mobilfunknetze**.

Um die Leistungskontrollfunktion verschiedener Handys in unterschiedlicher Umgebung und unter unterschiedlichen Bedingungen (stationär, mobil) zu registrieren, wurde dieses System entwickelt. Das System erfasste eine Fülle technischer Parameter und im Ergebnis erwies es sich als effektives Werkzeug, um Unterschiede zwischen GSM- und CDMA-Netzen herauszuarbeiten. Weiterhin ist es zur Bewertung der

Expositionsbedingungen in epidemiologischen Studien wie auch zur Testung der Qualität von Mobilfunkgeräten und Mobilfunk Providern geeignet.

P. Preiner, Österreich, erläuterte **Mittelungsmethoden für verlässliche Messungen der elektromagnetischen Feldstärke in der Nähe von Mobilfunkbasisstationen**. Ziel war es hier, Methoden zur Mittelung herauszuarbeiten, die es erlauben würden, unter Verwendung einer begrenzten Anzahl von Messpunkten eine repräsentative verlässliche Aussage über die Feldverteilung im Nahbereich einer Mobilfunkbasisstation zu machen. Im Ergebnis zeigte sich, dass verschiedene Schablonen, die unterschiedliche Mittelungsschemata repräsentierten, angewandt werden müssen, um die Verlässlichkeit hinsichtlich des Mittelwertes zu untersuchen.

Sitzung 12: Biophysikalische und biologische Dosimetrie II

(Vorsitz: Junji Miyakoshi, Japan, und Carl Blackman, USA)

S. Setti, Italien, berichtete über **Die Wirkung von elektromagnetischer Stimulation auf die Genesung von Patienten nach arthroskopischen Operationen**. Ziel dieser prospektiven, randomisierten Doppelblindstudie war es, den therapeutischen Nutzen von elektromagnetischer Stimulation zu untersuchen – speziell auf Läsionen des Knieknorpels. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Behandlung von Patienten nach arthroskopischen chirurgischen Eingriffen mit elektromagnetischer Stimulation durchaus wirksam sein kann. So kann dies beispielsweise zur Reduktion von Medikamenteneinnahmen führen und somit auch Nebenwirkungen von Medikamenten dem Patienten in einigen Fällen ersparen. Eine schnelle und vollständige Heilung wird so begünstigt.

G. Bit-Babik, USA, referierte über **Die durchschnittliche Ganzkörper Standard-Absorptionsrate – berechnet für den Körper eines Kindes im Frequenzbereich von 1 bis 6 GHz**. Ziel ist es, die durchschnittliche Ganzkörper-SAR für das Modell eines einjährigen Kindes abzuschätzen, das Feldern im Frequenzbereich



von 1 GHz bis 6 GHz ausgesetzt war. Im Ergebnis zeigte sich, dass die gegenwärtig gültigen maximal erlaubten Expositionswerte im Frequenzbereich von 2 bis 6 GHz nicht verträglich sind mit den Grenzwerten des Hochfrequenzstandards des IEEE.

W. H. Bailey, USA, sprach über Das Langzeitmonitoring von statischen elektrischen Feldern sowie der Raumladung im Nahbereich von Wechselstrom-Freileitungen.

Ziel war es hier, früher berichtete Langzeitmessungen statischer Felder im Nahbereich von Hochspannungsfreileitungen der Spannungsebene 230 kV bzw. 345 kV nach weiteren Kriterien zu analysieren sowie dort die Ionenzusammensetzung und meteorologische Parameter zu untersuchen.

Im Resultat zeigte sich, dass die Corona-Aktivität in einem bestimmten Bereich um die Hochspannungsfreileitungen herum eine Steigerung des umgebenden luftelektrischen Feldes bewirkte sowie eine Zunahme der dortigen Ionenkonzentrationen.

Q. Balzano, USA, erläuterte Feld- und Temperaturgradienten im Gewebe in der Nähe elektrischer Schwingkreise. Elektromagnetische Gewebefeldstärken in der Nähe eines elektrischen Schwingkreises wurden mit Hilfe eines neuen Rechenprogrammes ermittelt. Im Ergebnis zeigte sich, dass die verwendete Methode für Berechnungen innerhalb kleiner Volumeneinheiten geeignet ist, wo hohe lokale Standardabsorptionsraten und Energiedichten vorliegen. Weiterhin weisen die Ergebnisse auf signifikant erhöhte SAR-Werte in sehr kleinen umschriebenen Körperregionen hin. Allerdings betragen die lokalen Temperaturerhöhungen weniger als 0,25 K, wobei der lokale Blutfluss nicht berücksichtigt und die SAR entlang des Drahtes als konstant angesehen wurde.

F. J. C. Meyer, Südafrika, sprach über Die exakte Ermittlung von Zonen der Verträglichkeit von Mobilfunkbasisstationen mit Hilfe der Bestimmung der Ganzkörperabsorptionsrate.

Zielsetzung: Die Bewertung der räumlichen Spitzen-SAR bzw. der Ganzkörper-SAR beim Menschen in Nachbarschaft zu Basisstationenantennen ist von großer Bedeutung für die Verträglichkeit mit internationalen Expositionsgrenzwerten. Ziel war es, unter Verwendung numerischer Simulationstechniken das dreidimensionale SAR-Profil im Bereich einer typischen Mobilfunkbasisstationsantenne des GSM-Systems exakt zu berechnen mit dem Ziel, die gefundenen Werte mit den „basic restrictions“ zu vergleichen. Im Ergebnis zeigten die Untersuchungen, dass die vorgeschlagene Technik verwendet werden kann für exakte Berechnungen der SAR im Nahbereich einer Mobilfunkbasisstation. Künftig könnten die SAR-Ergebnisse verwendet werden, um genaue und realistische „Verträglichkeitszonen“ um solch eine Antenne herum zu berechnen.

A. P. Sihvonen, Finnland, berichtete über Ein verbessertes numerisches Modell für die Expositionsberechnung in Handy-typischen gepulsten Magnetfeldern.

Gepulste Batterieströme erzeugen gepulste Magnetfelder und gepulste Ströme im Kopf eines Mobiltelefonnutzers. In einer früheren Arbeit sei ein vereinfachtes Modell auf der Basis einer einfachen Stromschleife und eines sphärischen Kopfmodells verwendet worden, und für die Berechnung der Stromdichte seien quasistatische Verfahren angewandt worden. Das vereinfachte Modell basiere auf der Darstellung des Vektorpotentials desjenigen Feldes, das durch den gepulsten Strom in einer Leiterschleife induziert werde. Der induzierte Strom wurde durch die einfache Repräsentation des analytischen Vektorpotentials berechnet, indem ein skalares Nullpotential angenommen wurde. Im Ergebnis zeigen vorläufige Schätzungen, dass beim realen Modell die Stromquotienten deutlich niedriger liegen als beim vereinfachten Modell, wo die Expositionsquotienten von 0,05 bis 0,14 variierten. Fazit: Die Exposition in gepulsten magnetischen Feldern im Nahbereich von Mobiltelefonen liegt innerhalb der gegenwärtig gültigen Expositionsgrenzwerte.

C. Dale, Frankreich, referierte über **Die Analyse der Möglichkeit, dass Arbeiter irrtümlich Flächenantennen von Basisstationen mit Frequenzen von 900 MHz, 1800 MHz oder 2100 MHz von hinten berühren könnten.**

Ziel dieser Studie war es, die lokale SAR sowie die Ganzkörper-SAR eines Arbeiters zu berechnen, der die Basisstationenantenne von hinten oder von der Seite berührt. Die Abschätzung (der SAR) wurde durch Simulationen und Messungen bewerkstelligt, wobei eine allgemeine Herangehensweise gewählt wurde, um in der Lage zu sein, so weit als möglich jede Flächenantenne berücksichtigen zu können. Simulationen wurden durchgeführt unter Verwendung der FDTD-Methode, die sehr gut zur Berücksichtigung von Inhomogenitäten geeignet ist. Das in Betracht gezogene Körpermodell ist das dreidimensionale Visible-Man-Modell der Brooks Air Force Base. Dieses Menschenmodell kann entweder als homogen oder heterogen betrachtet werden und eine Abflachung des Phantoms wurde gewählt, die besser zur Rückseite der Antenne passte. Simulationen an einer einstufigen Antenne sowie an einer zweistufigen Antenne wurden bereits durchgeführt, um das Antennenverhalten zu untersuchen, wenn deren Höhe zunimmt. Messungen entsprechend der Norm CENELEC EN 50383 wurden ebenfalls bereits durchgeführt, wobei das flache Phantom und die homogenen Flüssigkeiten in dieser Norm definiert waren.

Ergebnis: In einem ersten Schritt wurde das Antennenmodell validiert zwischen den Stadien „Messung“ und „Validierung“. Sodann wurde die Messflüssigkeit durch Simulationen in einem homogenen und heterogenen Phantom validiert. Neben der Analyse der Gewebetiefenverteilung beim Visible-Man-Modell wurde auch eine Validierung der homogenen Flüssigkeit vorgenommen.

Schließlich wurden die Messungen und Simulationen bei 900 MHz, 1800 MHz und 2100 MHz durchgeführt. Eine zweistufige Antenne wurde verwendet, um die Wirkung auf die lokale und die Ganzkörper-SAR zu testen. Wie bei einer zweistufigen Antenne zu erwarten war, war die Ganzkörper-SAR fast dieselbe wie bei der einstufigen, während die lokale SAR durch 2


dividiert werden musste. Das Ergebnis kann dann auf jede Antennenhöhe extrapoliert werden. Es zeigte sich im Resultat, dass bei klassischen Antennen (mit einer Höhe von über 1,3 Metern) und einer klassischen Leistungsaufnahme (von weniger als 40 W pro Band für Dreibandantennen) es für Arbeiter möglich ist, die Rückseite oder die Seite der Antenne zu berühren. Der Kontakt wird möglich, wenn die Hand oder der betreffende Körperteil hinter der metallenen Rückseite der Antenne verbleibt.

Gesamtbewertung der BEMS-Tagung 2004 aus Sicht des Mediziners

Besonders fielen mir bei der Analyse der BEMS-Tagung 2004 die zahlreichen Beiträge zum Thema der Applikation ultrakurzer elektrischer Pulse an Zellmembranen auf, die von der Arbeitsgruppe um K. H. **Schoenbach** von der Old Dominion University in Norfolk, Virginia, präsentiert wurden.

Hier scheint für die Zukunft ein großes auch heilendes Potential zu liegen. Denn wenn es gelingt, die Zellmembran zu öffnen, ohne nennenswerten weiteren Schaden an den Zellen anzurichten, dann lassen sich beispielsweise Pharmaka direkt in die Zelle einbringen, was beispielsweise bei der Tumorthherapie segensreich wirken könnte.

Vielversprechende heilende und lindernde Effekte auf der Basis elektromagnetischer Felder werden von verschiedener Seite berichtet und prägen das Gesamtbild der BEMS-Tagungen in den letzten Jahren mehr und mehr. Neuromuskuläre Erkrankungen wie Sehnenentzündungen, Depressionsbehandlung, Tumorthherapie mit Hilfe elektromagnetischer Felder sowie vor allem auch die Schmerztherapie spielen eine immer bedeutendere Rolle auch in der sogenannten etablierten Medizin. Schulmediziner legen mehr und mehr ihre Vorbehalte gegen Magnetfeldtherapien ab. Dieser Trend ist beispielsweise in Deutschland unverkennbar und wird vermutlich anhalten. Dabei kommt der Anwendung elektromagnetischer Felder natürlich häufig nur eine adjuvante, also zusätzliche Funktion zu, die aber nicht unerheblich ist. Besonders ist in diesem Zusammenhang auch der durchaus bewusst gewollte Placebo-Effekt zu nennen, der zusätzlich zu



etwaigen bewiesenen Wirkungsmechanismen elektromagnetischer Felder im Sinne einer Heilung oder doch zumindest Linderung von Beschwerden auch die psychischen Selbstheilungskräfte des Patienten weiter mobilisiert und unterstützt.

Dass sich die Bioelectromagnetics Society stärker noch als bisher nicht nur den potentiellen gesundheitlichen Risiken nieder- und hochfrequenter Felder widmet, sondern zunehmend auch potentiell heilende und lindernde Feldeffekte erforscht und erforschen wird ist also – wie schon erwähnt – ein Trend, der ohnehin seit einigen Jahren zu beobachten ist. Auch in den Postern zeigte sich diese Tendenz ganz deutlich. Insgesamt gewann ich vom medizinischen Standpunkt aus betrachtet den Eindruck, dass man bei den beteiligten industriellen Gruppen - mehr als dies früher der Fall war – den Menschen nicht nur als Telefonkunden wahrnimmt, sondern ihn auch in seiner persönlichen Integrität ernst nimmt. Dies bedeutet dann auch, dass vermehrt auch nach dem persönlichen Wohlbefinden des Menschen, der die Technik nutzt, gefragt wird. Vom ärztlichen Standpunkt aus betrachtet ist dieser Paradigmenwechsel nur zu begrüßen.

Aus medizinischer Sicht scheinen mir die folgenden Bemerkungen zum Phänomen der Elektrosensibilität unbedingt erwähnenswert:

In seinem Vortrag über **In-vitro gewonnene Hinweise auf die Existenz der Elektrosensibilität** betonte **D. Leszczynski**, STUK-Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, dass er mit Hochdurchsatz-Methoden deutliche Zeichen für die Möglichkeit einer Existenz des Phänomens der Elektrosensibilität gefunden habe. Hierzu möchte ich allerdings anmerken, dass meiner Meinung nach Leszczynskis Schlussfolgerung zu weit geht. Denn man kann meiner Auffassung nach aus der Erkenntnis, dass die Zellantwort auf mobilfunktypische Felder sowohl vom Genotyp als auch vom Phänotyp der Zelle abhängt und bei verschiedenen Genen auch unterschiedliche, wenn nicht gegenläufige Reaktionen auftraten, nicht ohne weiteres schließen, dass es sich am Gesamtorganismus des Menschen, der ja aus Milliarden von Einzelzellen

besteht, genauso verhalte, wenn er Feldern ausgesetzt werde. Leszczynskis Aussage tendiert nämlich dahin zu argumentieren, dass die „Elektrosensiblen“ eine Untergruppe der Bevölkerung darstellen könnten, die möglicherweise genetisch bedingt (also vom Genotyp her bestimmt) überempfindlich auf elektromagnetische Felder reagieren könnten.

Aus medizinischer und – wenn man so will – ganzheitlicher Sicht soll allerdings darauf hingewiesen werden, dass der Gesamtorganismus von Mensch und Tier im Gegensatz zur Einzelzelle oder Gewebeprobe Steuerungs-, Kompensations- und Gegenregulationsmechanismen besitzt. Diese können naturgemäß im in-vitro-Versuch nur bedingt erfasst werden, sollten jedoch in ihrer Tragweite nicht unterschätzt werden. Die Übertragbarkeit von in-vitro-Ergebnissen auf den Gesamtorganismus sollte an dieser Stelle diskutiert werden.

Es ist also zu bezweifeln, ob weitreichende Schlussfolgerungen in bezug auf die gesundheitliche Relevanz der dargestellten Ergebnisse gerechtfertigt wären.

Ingesamt lässt sich auch diesmal feststellen, dass die auf der Tagung präsentierten Ergebnisse keinen hinreichenden Grund für eine Beunruhigung der Öffentlichkeit liefern. Man tendierte insgesamt in Richtung einer Versachlichung des Themas der medizinisch-biologischen Feldwirkungen auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse.

Aus naturwissenschaftlicher – wie auch aus ärztlicher Sicht – erscheint aber eine weitere Abklärung noch offener Fragen zu potentiellen Gesundheitsgefahren bzw. medizinisch-biologischen Wirkungen der elektromagnetischen Hochfrequenzfelder der Mobilfunktechnologie ebenso wie der niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder der Energietechnik sinnvoll. Gerade durch wissenschaftliche Forschung auch am Gesamtorganismus des Menschen können Ängste dort relativiert und abgebaut werden, wo sie sich als unbegründet erweisen.

Dr. med. Jörg Reußenweber ist Facharzt für Physiologie im Zentrum für Elektropathologie (Leiter: Prof. Dr. med. Eduard David) der medizinischen Fakultät der Universität Witten/Herdecke