

# Bericht

## 29. Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society (BEMS)

Kanazawa, Japan, 10.-15. Juni 2007

Die Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society fand in diesem Jahr zum ersten Mal in Asien statt. Als Kongressort wurde die gut 450.000 Einwohner zählende Großstadt Kanazawa gewählt, die auf der Hauptinsel von Japan an der Westküste zum japanischen Meer liegt. Kanazawa hat einen entfernt vom Zentrum liegenden Seehafen, bietet einige Sehenswürdigkeiten, wie zum Beispiel einen der „drei perfekten Gärten“ Japans sowie das alte Samurai-Viertel, und ist Sitz von zwei staatlichen und vier Privatuniversitäten. Kunsthandwerk, Textilindustrie und der Maschinenbau zählen zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen. Die rund 325 Tagungsteilnehmer fanden in der Kongresshalle im Zentrum der Stadt einen bestens ausgestatteten Austragungsort vor. Das ausgewogene Programm mit der gewohnten Mischung aus technischen und biomedizinischen Präsentationen neuester, noch unveröffentlichter Forschungsergebnisse war in fünf Plenarsitzungen mit diesmal jeweils drei Vorträgen sowie in 14 Themensitzungen mit Kurzvorträgen eingeteilt. Daneben gab es zwei Workshops und eine umfangreiche Posterausstellung. Im vorliegenden Bericht werden die erwähnenswertesten Ergebnisse aus der biomedizinischen Forschung und der Dosimetrie nur für den Bereich der Funkanwendungen hervorgehoben und thematisch zusammengefasst.

### Plenarsitzung zu Expositionsgrenzwerten und gesundheitlichen Erwägungen

**Maila Hietanen** (Institute of Occupational Health, Helsinki, FIN) gab in ihrer Eigenschaft als stellvertretende Vorsitzende der Kommission ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), welche auf rein wissenschaftlicher Basis maßgeblich Expositionsgrenzwerte für die weltweite Anwendung vorschlägt, einen Überblick über das Verfahren der Grenzwertfestlegung im Zusammenspiel zwischen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der ICNIRP. Die ICNIRP ist eine gemeinnützige Organisation mit vier wissenschaftlichen Komitees für die Bereiche 'Epidemiologie', 'Biologie', 'Technik/Dosimetrie' und 'Optische Strahlung', in der 14 unabhängige Wissenschaftler als Haupt-Kommissionsmitglieder zusammenarbeiten. Die WHO bewertet wissenschaftliche Literatur zur Wirkung elektromagnetischer Felder (EMF) auf die Biologie von Tier und Mensch, identifiziert Wissenslücken und beurteilt eventuelle Gesundheitsrisiken auf der Basis abgeschlossener Forschungsprojekte.



Dr. rer. nat. Frank Gollnick,  
Forschungsgemeinschaft  
Funk e. V.



Hietanen hält die wissenschaftlichen Belege noch nicht für eine abschließende Beurteilung ausreichend, um in allen Bereichen Grenzwertstandards *endgültig* festzuschreiben. Zumindest für Funkfrequenzen hätten die Studien jedoch keine überzeugenden Beweise für *chronische* Effekte geliefert, und kontrollierte Doppelblind-Studien hätten gezeigt, dass das Phänomen der „Elektrohypersensibilität“ nicht in kausale Verbindung mit einer EMF-Exposition gebracht werden könne. Einige kurzfristige biologische Effekte ohne gesundheitlich relevante Auswirkungen gelten heute als etabliert, während Langzeiteffekte bislang nur für möglich gehalten werden. Bevölkerungsstudien über die Auswirkung *niederfrequenter* Felder auf die Krebsentwicklung wurden als noch unzureichend für eine endgültige Grenzwertfestlegung bezeichnet. Zunächst ist von der ICNIRP geplant, die Richtlinien aus dem Jahr 1998 für statische Magnetfelder und niederfrequente Wechselfelder im Jahr 2008 in einer überarbeiteten Version vorzulegen.

Während **Naohito Yamaguchi** (Tokyo Women's Medical University, Japan) die bisherigen Länder-Einzelergebnisse der in der Endphase befindlichen, internationalen Bevölkerungsstudie INTERPHONE zusammenfasste, ging **Martine Vrijheid** (International Agency for Research on Cancer, IARC, Lyon, F) auf methodische Schwierigkeiten in der Verbundstudie und deren Bewältigung ein. Es hatte sich in verschiedenen Einzelstudien herausgestellt, dass die bei bestimmten Bevölkerungsstudien-Typen allgemein vorkommenden Messfehler und Ergebnisverzerrungen (engl. „bias“) wahrscheinlich zur Überschätzung von Risiken, hauptsächlich im Bereich langfristiger Mobiltelefon-Nutzung, geführt haben. Besonders das Abfragen langfristiger oder lange zurückliegender Mobiltelefonier-Gewohnheiten ist naturgemäß sehr anfällig gegenüber Unsicherheiten bei der Erinnerung solcher Gewohnheiten. Insbesondere dann, wenn eine auftretende Krankheit (zum Beispiel ein Hirntumor) die Erinnerung möglicherweise zusätzlich in eine bestimmte Richtung gedrängt haben könnte (zum Beispiel Assoziation der früheren Telefonierseite am Kopf mit der Seite, wo später ein Tumor auftrat). Um solche Unsicherheiten in den durchgeführten Bevölkerungsstudien im Nachhinein quantitativ abschätzen zu können, wurden im Rahmen von INTERPHONE einige Ergänzungsstudien durchgeführt, in denen die Größe des Fehlers bei der Erhebung selbstberichteter Telefoniergewohnheiten bestimmt werden sollte. Dies wiederum soll bei der noch ausstehenden abschließenden Gesamtbewertung der INTERPHONE-Ergebnisse zu verlässlicheren Aussagen führen. Zwei Ergänzungsstudien, bei denen die selbst eingeschätzten mit den exakt gemessenen Telefoniergewohnheiten (Anzahl Anrufe und Telefonierdauer) bei 672 Testpersonen (prospektiv erhoben) bzw. 212 Fällen und 296 Kontrollen (retrospektiv erhoben) verglichen wurden und die bereits ausgewertet und zum Teil veröffentlicht sind, ergaben zum Beispiel bei der Telefonierdauer große Abweichungen von etwa einem Drittel bis hin zu einem Faktor über 2 (im Falle länger zurückliegender Erinnerungszeiträume bei Tumorpatienten). Insgesamt kam Vrijheid zu dem vorläufigen Schluss, dass nach den hier gemachten quantitativen Abschätzungen bei den Fall-Kontroll-Studien sowohl in Bezug auf die verzerrte Erinnerung der Befragten („recall bias“) als auch in Bezug auf den Stichprobenfehler bei relativ kleinen Teilnehmerzahlen („selection bias“) große Zufallsfehler vorkommen. Die systematischen statistischen Fehler sind dagegen eher klein. In der INTERPHONE-Studie wurden daher große Anstrengungen unternommen, diese Fehler quantitativ abzuschätzen. In noch laufenden Arbeiten wird der Einfluss der erkannten Fehler auf die bereits größtenteils veröffentlichten Zahlen der relativen Risiken quantitativ abgeschätzt, um die Gesamtinterpretation der INTERPHONE-Ergebnisse sicherer zu machen.

## Ergebnisse der japanischen Bevölkerungs- und Provokationsstudie zu Elektrosensitivität

**Yoshikazu Ugawa** (Universität Tokyo, Japan) gab, begleitet von drei zugehörigen Posterpräsentationen, einen Ergebnisbericht über die vom japanischen Ministerium für innere Angelegenheiten und Kommunikation finanzierte Bevölkerungsbefragung und Provokationsstudie zum Thema Mobilfunk-Basisstationen und Elektrosensitivität. Hierbei wurde ein Fragebogen zur Häufigkeit der Mobiltelefon-Benutzung und eventueller Gesundheitsbeschwerden, die von den Befragten möglicherweise damit in Verbindung gebracht werden, an 5000 zufällig ausgewählte Frauen versandt. In den 2472 ausreichend beantworteten Fragebögen (von insgesamt 3116 Rückläufern = 62,3 %) gaben 29 Frauen (1,2 %) an, dass ihre Beschwerden nach eigener Einschätzung durch die Mobilfunknutzung verursacht werden. Weitere 34 Personen (1,4 %) verspürten in Verbindung mit ihrer Mobilfunknutzung zwar Symptome, stuften diese aber nicht als Gesundheitsbeschwerden ein. Von den 29 genannten Frauen, die laut Ugawa nach der Definition der WHO als Personen mit „elektromagnetischen Feldern zugeordneten Symptomen“ gelten, konnten 11 für die Teilnahme an den Provokationstests im Labor gewonnen werden. An der Laborstudie nahm außerdem eine Gruppe von 43 zufällig ausgewählten Kontrollpersonen ohne Symptome mit gleicher Altersstruktur teil. Die Probandinnen saßen dabei in einem abgeschirmten Raum in 3 Meter Entfernung von einer in Kopfhöhe aufgestellten Hornantenne, die ein simuliertes 2 GHz W-CDMA-Basisstations-Signal aussendete (Intensität: knapp 10 V/m, Ganzkörper-SAR-Abschätzung: 1,4 mW/kg). 4 experimentelle Bedingungen während der Expositionsphase (30 Minuten kontinuierliche Exposition, im 5-Minuten-Takt unterbrochene Exposition, Scheinexposition oder im 5-Minuten-Takt unterbrochene Beschallung mit einem 65 dB weißen Rauschen) wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen in Verbindung mit psychologischen Tests (vor und nach Exposition), Reaktionszeit-Tests (vor und nach Exposition), physiologischen Messungen (Herzfrequenz, Hauttemperatur, peripherer Blutfluss; während der Exposition) sowie Befragung nach der Befindlichkeit und der Wahrnehmung des Feldes (während der Exposition) in vier separaten Testläufen pro Person absolviert. Dabei war allen Beteiligten die gerade tatsächlich eingestellte Bedingung nicht bekannt (außer bei weißem Rauschen als Positivkontrolle). Besonderes Augenmerk wurde auf „Stimmungsänderungen“ durch die Exposition (Beklemmung, Müdigkeit, Verwirrung, Anspannung etc.), Unbehagen und auf die Wahrnehmung des Feldes gelegt. Die Auswertung ergab, dass die 11 Frauen in der Gruppe mit Symptomen sich unter *allen* Bedingungen unbehaglicher fühlten als die Teilnehmerinnen der Kontrollgruppe. Eine Abhängigkeit von einer Expositionsbedingung konnte jedoch nur bei der Positivkontrolle mit Störgeräuschen deutlich für beide Gruppen festgestellt werden. Das Vorhandensein des Elektromagnetischen Feldes wurde von beiden Gruppen zu 50 Prozent richtig eingeschätzt, was genau der Ratewahrscheinlichkeit entspricht. Alle sonstigen gemessenen Parameter ergaben ebenfalls keine Unterschiede unter den verschiedenen Expositionsbedingungen. Somit konnte in der japanischen Studie kein kausaler Zusammenhang zwischen dem angewandten Basisstations-Signal und den Gesundheitssymptomen in der Gruppe betroffener Frauen nachgewiesen werden.

## Weitere Studien am Menschen

Im Rahmen des 'Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms' (DMF) wurde eine Laborstudie an freiwilligen Probanden zur möglichen Beeinflussung des Schlafs durch 900 MHz-GSM- und UMTS-Mobilfunkfelder durchgeführt. **Heidi Danker-Hopfe** (Charité-Universitätsmedizin, Berlin) berichtete von ihren Ergebnissen unter 900 MHz-Exposi-

tion und von den ersten Ergebnissen unter UMTS-Exposition. In der doppelblind, randomisiert und Placebo-kontrolliert im Crossover-Design durchgeführten Studie wurde bei 30 sehr sorgfältig auf ihren einwandfreien Gesundheitsstatus hin überprüften Männern im Alter zwischen 18 und 30 Jahren in jeweils 10 Nächten, verteilt auf einen 20 Wochen-Zeitraum, die Qualität des Schlafs unter verschiedenen Expositionsbedingungen (eine Adaptationsnacht, jeweils drei Nächte mit GSM-, UMTS- oder Scheinexposition) gemessen. Bei Feldexposition wurde mit einer am Kopf angebrachten Antenne das Feld eines GSM900- oder UMTS-Mobiltelefons (Uplink-Signal,  $SAR_{10g} \leq 2 \text{ W/kg}$ ) für 8 Stunden pro Nacht simuliert. Anhand von EEG-Ableitungen wurden dabei die in der Schlafforschung üblichen Parameter zur Schlafstruktur (Einschlafverzögerung, Schlafstadienwechsel etc.) und zu den sogenannten „Schlafspindeln“ (deren Frequenz, Dichte, Amplitude und Dauer) gemessen, analysiert und statistisch ausgewertet. Nach der notwendigen statistischen Adjustierung der umfangreichen Datensätze für multiples Testen ergaben sich sowohl für die Schlafstruktur als auch für die Spindelanalyse bei beiden verwendeten Feldsignalarten insgesamt keine signifikanten Abweichungen zwischen den Nächten mit und ohne Exposition. Die Anzahl statistisch signifikanter Einzeleffekte blieb unter der durch Zufall zu erwartenden Einzeleffekte.

Eine interessante Studie aus Schweden zur Exposition durch Mobiltelefone in großen Menschenansammlungen wurde von **Yngve Hamnerius** (Universität Göteborg, S) präsentiert. In einem Stadion und auf einem großen Platz in Göteborg wurden die vorhandenen Feldstärken im Bereich 80 – 2500 MHz während zwei Großveranstaltungen mit bis zu 30.000 Besuchern gemessen um herauszufinden, ob es durch die gleichzeitige Benutzung vieler Mobiltelefone zu einer übermäßigen Feldbelastung der Menschen kommen kann. Der GSM1800-Downlink (Funksignale von der Basisstation zu den Mobiltelefonen) wurde an beiden Orten als dominierende Feldquelle ermittelt. Daneben gab es in nicht unerheblichem Maße GSM900-, Radio-, TV-, Polizeifunk- und andere Sprechfunk-Signale. Einzelne Ereignisse während der Veranstaltungen (zum Beispiel Zieldurchlauf eines einheimischen Leichtathletik-Sportlers als Gewinner) konnten gut den gemessenen, kurzfristig erhöhten Signalamplituden, z. B. des GSM900-Uplinks (Funksignale von den Mobiltelefonen zur Basisstation), zugeordnet werden. Insgesamt konnte man im Vergleich der Zeiträume vor und während der Veranstaltungen eine Zunahme der Exposition in den Menschenansammlungen nachweisen. Diese betrug in dem Stadion 40% bis hinauf zu 110 Mikrowatt pro Quadratmeter ( $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) und auf dem Platz 440% bis hinauf zu 107  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  (Der große Unterschied zwischen Stadion und Platz ergibt sich durch den größeren, ständig vorhandenen „Sockelbetrag“ in dem Stadion aufgrund angrenzender Radio-, TV-Sender etc.). Obwohl eine Zunahme der Feldexposition während der Veranstaltungen beobachtet wurde, entsprach der gemessene Maximalwert von 110  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  nur 0,004% des zulässigen Expositionsgrenzwerts. Hamnerius gab zu bedenken, dass demnach auch in großen Menschenansammlungen das eigene Mobiltelefon oder das eines Nachbarn normalerweise mit Abstand die größte Feldquelle darstellt. Die erhöhten Werte durch Menschenansammlungen stellen absolut keine Beeinträchtigung dar und seien daher irrelevant.

## Tierstudien

Hier ist eine Präsentation aus der Arbeitsgruppe von **Leif Salford** (Universität Lund, S) hervorzuheben, die in früheren Arbeiten unter 900-MHz-Mobilfunkexposition im Gehirn von Ratten Durchlässigkeitsänderungen der Blut-Hirn-Schranke und Nerven-Zellschädigungen („dark neurons“) gezeigt hatte. **Jacob Eberhardt** zeigte Ergebnisse einer

neuen Studie, in der wieder Ratten (männliche und weibliche in gleicher Anzahl) ab einem Alter von 4 Monaten in einer ähnlichen Expositionsanlage wie in den früheren Experimenten (TEM-Zellen mit eingespeisten Signalen programmierbarer Mobiltelefone) unter Anwendung von GSM900- und UMTS-Signalen untersucht wurden (jeweils 16 Tiere bei SAR = 100 mW/kg, 1 mW/kg und 0 mW/kg, 8 Tiere als Käfigkontrolle). Bei den Langzeitexperimenten (2 Stunden Exposition pro Woche über 55 Wochen) mit GSM900-Signalen wurden außer der nochmaligen Untersuchung von Blut-Hirn-Schranke-Schäden und dem Nachweisversuch von „dark neurons“ (beides an Hirnschnittpräparaten, 6 Wochen nach Ende der Feldexposition durchgeführt) diesmal auch Verhaltenstests zum räumlichen und zeitlichen Erinnerungsvermögen der Ratten drei Wochen nach dem Ende der Feldexposition angeschlossen. Im Gegensatz zu den früheren Versuchen fanden Salford und Kollegen diesmal bei allen untersuchten Parametern keine Unterschiede zwischen den exponierten und nicht exponierten Gruppen. „Dark neurons“ wurden in den Gehirnen der meisten Tiere nachgewiesen, jedoch in allen Gruppen gleich häufig. Somit konnten die alten Befunde, die auf Hirnschädigungen durch Mobilfunkfelder hingewiesen hatten, nicht bestätigt werden. Trotzdem wird zur Zeit, aufgrund eines schwachen Hinweises aus den Verhaltensexperimenten, nun mit verschiedenen Markern (Nachweissubstanzen) der Frage nachgegangen, ob bei den Gehirnen der exponierten Tiere eine vorzeitige Alterung eingesetzt haben könnte. Die mit dem ersten Marker erzielten Befunde waren aber ebenfalls negativ. Mit UMTS-Signalen wurden Kurzzeituntersuchungen bei drei verschiedenen Ganzkörper-SAR-Werten (0,2 mW/kg, 2 mW/kg, 20 mW/kg) an jeweils 12 Ratten vorgenommen. Diese Experimente wurden aus Zeitgründen nur unvollständig erläutert. Im Ergebnis zeigten sich bei feldexponierten Tieren auch hier keine erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke und keine erhöhte Rate an nachgewiesenen „dark neurons“ gegenüber den Kontrolltieren.

Aus der Arbeitsgruppe von **Bernard Veyret** (Universität Bordeaux, F) wurden neue Ergebnisse aus einer erwähnenswerten Studie präsentiert, deren erste Ergebnisse bereits auf einem Poster bei der Tagung der EBEA in Bordeaux gezeigt wurden (siehe den entsprechenden Bericht dazu in der vorliegenden Ausgabe des „Newsletters“). **Bernard Billaudel** nahm diesmal Bezug auf Experimente an Ratten unter *kurzzeitiger* Exposition, während in Bordeaux die Ergebnisse einer 30-tägigen, *chronischen* Exposition zu sehen waren. Mit der gleichen Methodik wie im oben erwähnten Bericht zu lesen, wurde jetzt bei kurzzeitiger Exposition mit GSM-1800- oder UMTS-Signalen zwar wieder bei einigen Parametern und in einigen der Hirnregionen ein signifikant erhöhtes oder erniedrigtes Auftreten von „dark neurons“ beobachtet (im Vergleich zu scheinexponierten Kontrolltieren), jedoch wurden diese Effekte in dem Vortrag als zufällig über die Vielzahl gemessener Parameter verteilt bezeichnet. Eine Dosis-Wirkungs-Beziehung konnte nicht gezeigt werden. Somit folgerte Billaudel, dass eine Degeneration von Nervenzellen durch die angewandten Mobilfunksignale in diesem Teil der Studie nicht nachgewiesen werden konnte. Die Daten zur Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke waren zum Zeitpunkt der Präsentation noch nicht ausgewertet, so dass dieses Ergebnis erst im Abschlussbericht des im Rahmen des ‘Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms’ (DMF) geförderten Projekts erscheinen wird. Es bleibt abzuwarten, wie in der Gesamtinterpretation die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Studie unter chronischer Exposition (mehr „dark neurons“ unter Exposition bei niedriger Dosierung sowie erhöhte Durchlässigkeit nur bei der höchsten Dosierung) zu den Ergebnissen unter kurzfristiger Exposition (kein systematischer Effekt bei der Anzahl von „dark neurons“) bewertet werden. Nach dem Vortrag gab Billaudel noch die

Information, dass zwischen der Käfigkontrollgruppe und der scheinexponierten Gruppe *keine* Unterschiede beobachtet wurden, was auf einen verfälschenden Effekt durch die Festsetzung der Tiere in Kunststoffröhren während der (Schein-)Exposition hindeutet hätte.

In der gleichen Themensitzung sprach **Isabelle Lagroye** (ebenfalls aus der Arbeitsgruppe von Bernard Veyret) über ihre Experimente zur Expression der Hitzeschock- oder „Stress“-Proteine HSP70 und HSP25 im Gehirn von Ratten verschiedenen Alters. In früheren Versuchen der Arbeitsgruppe war gezeigt worden, dass eine chronische Exposition junger erwachsener Ratten (Alter: 12 Wochen) unter 1960 MHz-UMTS-Signalen (2 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche über 4 Wochen, SAR-Wert über das Gehirn gemittelt: 2,6 W/kg) die Expression der beiden Proteine verstärkt hatte. Ältere Ratten, die allgemein weniger auf Stress reagieren, sprachen weniger auf die Behandlung an. In den jetzt präsentierten Experimenten wurden junge erwachsene *und* ältere Ratten (Alter: 17 Monate) unter *einmaliger*, zweistündiger GSM-1800- und UMTS-Feldexposition (sonstige Expositionsbedingungen wie oben) untersucht. Während in der *Hirnrinde* in allen betrachteten Fällen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Tieren zutage traten, wurde im Bereich des *Hippokampus* und nur bei GSM-1800-Signalen in beiden Altersgruppen eine signifikante *Abnahme* in der Produktion beider Stressproteine beobachtet. Ein Wirkungsmechanismus, der diesen Befund erklären könnte, war Frau Lagroye nicht bekannt. Neben dem Hinweis, dass vergleichbare Reduzierungen von Stressproteinen auch unter dem Einfluss von Phenolen (Gerbstoffe, die zum Beispiel beim Genuss von Rotwein in den Körper gelangen) vorkommen, wurden nur Spekulationen geäußert, ob womöglich die gepulste Eigenschaft des GSM-Signals den Effektunterschied zwischen den beiden getesteten Mobilfunksignalen (GSM und UMTS) erklären könne. In Positivkontrollen zeigte das Epilepsiezustände auslösende Mittel Kainat nur in den jungen Ratten eine deutliche Wirkung auf die HSP-Expression. Es muss erwähnt werden, dass die Tiere (nach zweiwöchigem Training) während der Exposition in engen Kunststoffröhren festgehalten wurden, was per se ein gewisses Stresspotenzial, also hier eine Möglichkeit zur Verfälschung der Ergebnisse, in sich birgt. Außerdem lagen die angewandten Feldstärken über den für Menschen zulässigen Teilkörper-Grenzwerten.

## Untersuchungen an Zellen

Einiges Berichtenswertes wurde von Studien unter Verwendung von Zellkulturen präsentiert. **Franz Adlkofer** (Verum Stiftung, München) baute in seinem Vortrag auf ein beim EBEA-Kongress in Bordeaux gezeigtes Poster auf (siehe den entsprechenden Bericht dazu in der vorliegenden Ausgabe des „Newsletters“) und präsentierte noch mehr neue Ergebnisse aus der Arbeitsgruppe von **Hugo Rüdiger** (Universitäts-Kliniken, Wien, A). Klar dosisabhängige Effekte eines 1950 MHz-UMTS-Signals können dort an drei verschiedenen Bindegewebs-Zelllinien des Menschen (Fibroblasten), aber nicht an weißen Blutkörperchen des Menschen (periphere, stimulierte Lymphozyten) anhand des COMET-Assays und des Mikronukleus-Tests (beide Tests zeigen Schäden am genetischen Material der Zellen an) nachgewiesen werden. Anhand einer Fülle von Datengrafiken, die alle die gemittelten Resultate aus drei separaten Experimenten und nur Resultate unter Verwendung eines *ununterbrochenen* UMTS-Signals zeigten, kam Adlkofer zu dem Schluss, dass „UMTS-Felder demnach im Vergleich zu GSM-Feldern (die von Rüdigers Gruppe früher im Zusammenhang mit dem REFLEX-Projekt mit gleicher Methodik untersucht wurden) ein mindestens zehnfach größeres Potenzial haben, genschädigende Effekte auszulösen.“ Die früheren Daten von Experimenten

mit unterbrochener Exposition – 5 Minuten an, 10 Minuten aus – ließ Adlkofer hier aus (siehe dazu den o.g. Bericht vom EBEA-Kongress). Die Auswirkungen auf das Genmaterial der Fibroblasten seien bei SAR-Werten von 0,05 W/kg beobachtet worden, und dies seien nur 2,5% des gültigen Teilkörper-Grenzwertes von 2 W/kg. Adlkofer fügte hinzu, dass widersprüchliche Ergebnisse, wie die von ihm präsentierten (Anmerkung: Einige andere Forschergruppen konnten die Ergebnisse mit gleichen Methoden bislang nicht nachvollziehen), in der Wissenschaft nicht ungewöhnlich seien. Eine Klärung der Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse sei wichtig, weil solche Ergebnisse zur Verunsicherung der Öffentlichkeit beitragen. Siehe zu diesem Thema auch den Bericht und den Kommentar zum FGF-Workshop zu genotoxischen Effekten in der vorliegenden Ausgabe des „Newsletters“.

In direktem Zusammenhang mit diesem Vortrag (und einigen weiteren zum Thema „mögliche genschädigende Feldwirkungen“) stand ein sehr aufschlussreicher Vortrag von **Isabelle Lagroye** (Universität Bordeaux, F) über den COMET-Assay im Rahmen des vierstündigen Workshops „Grundlegende Techniken in der zytogenetischen Forschung“. Unter anderem wurden Gründe für das Auftreten unterschiedlicher Resultate an gleichen Untersuchungsobjekten in verschiedenen Labors anhand von technischen Details bei der Ausführung der Experimente aufgedeckt. So wurden nach Lagroyes Ansicht in der Arbeitsgruppe Rüdiger (siehe oben) bei der Klassifizierung des Grades an Schädigung genetischen Materials nach Augenmaß (ein Schlüsselvorgang bei der Auswertung des COMET-Assays) sehr wahrscheinlich apoptotische Zellen mit in die Auswertung einbezogen. Solche Zellen, die vorgeschädigt sind und aufgrund dessen einen „programmierten Zelltod“, also einen geplanten „Zellselfmord“ durchlaufen, werden normalerweise bei der Auswertung des COMET-Assays ausgeschlossen. Lagroye hält daher eine gewisse Verfälschung der Ergebnisse aus Rüdigers Labor bei der visuellen Bewertung der COMET-Assays für nicht ausgeschlossen. Diese visuellen Bewertungen bilden aber grundsätzlich die Basis für die von Adlkofer dargestellten Resultate aus Rüdigers Labor (siehe oben), aufgrund welcher Adlkofer von einem „mindestens zehnfach größeren Potenzial für die Auslösung genschädigender Effekte“ spricht. Einen weiteren Grund für das Auftreten unterschiedlicher Resultate an gleichen Untersuchungsobjekten bei der Anwendung des COMET-Assays in verschiedenen Labors sah Lagroye in dem – nach ihrer Ansicht unnötigen – Einsatz von Proteinase K während der Präparation. Proteinase K beseitigt Protein-DNA-Verbindungen und kann, je nachdem, ob Forscher dieses Enzym einsetzen oder nicht, zu ganz unterschiedlichen Resultaten, und damit zu unterschiedlichen Bewertungen des Effektes einer untersuchten Feldexposition führen. So könnten bei früher publizierten, alarmierenden und daher viel beachteten Resultaten, die mit dem COMET-Assay erzielt wurden, ungewollte Nebenwirkungen von Proteinase K der eigentliche Grund für die Befunde gewesen sein.

Drei weitere Vorträge zu anderen zytogenetischen Techniken, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, vervollständigten den detaillierten Einblick in methodische Feinheiten im Rahmen dieses Themenworkshops.

Ebenfalls um genetische Schäden, hier im Zusammenhang mit 2,45 GHz-Mikrowellenfeldern aus Radar-Anwendungen, ging es in einer Präsentation von **Anne Perrin** (Forschungszentrum des französischen Verteidigungsministeriums, CRSSA, La Tronche, F). An menschlichen Blutzellkulturen (Monozyten, Zelllinie THP1) wurde der Einfluss von 2,45 GHz-Feldern (kontinuierlich oder, wie beim Radar, moduliert mit 1 kHz Wie-

derholungsrate eingestrahlt) bei SAR-Werten von 4 W/kg, 8 W/kg und 16 W/kg im Labor untersucht. Die Exposition oder Scheinexposition fand jeweils für 2 Stunden unter Zugabe einer mutagenen (das Erbgut verändernden) Substanz (4-NQO) statt, so dass gegebenenfalls ein modulierender Einfluss der Felder auf die Stärke der mutagenen Wirkung dieser Substanz sichtbar werden konnte. Bei 4 und 8 W/kg ergab sich durch die Felder keine Veränderung des Ausmaßes der mit dem COMET-Assay gemessenen DNA-Schäden der Blutzellen. Bei 16 W/kg, einem Wert der oberhalb der Arbeitsschutz-Grenzwerte liegt, maß man eine Steigerung der DNA-Strangbrüche um 40%, sowohl mit modulierten als auch mit unmodulierten Feldern. Überraschenderweise ergaben ergänzende Experimente, dass die durch die Mikrowellenfelder bei 16 W/kg verursachte Temperaturerhöhung in den Kulturschalen klar *nicht* dazu ausreicht, die erhöhte Rate an DNA-Schäden damit zu erklären. Diese Daten legen laut Perrin also nahe, dass die Mikrowellenexposition an sich und *nicht* der ihr entsprechende Wärmeeinfluss dafür sorgt, dass sich die Wirkung der eingesetzten mutagenen Substanz verstärkt. Um bislang unentdeckte Fehler oder Störeinflüsse bei den Experimenten auszuschließen, finden gegenwärtig zusätzliche Kontrollversuche und numerische Simulationen zur Feldexposition statt.

**Dariusz Leszczynski** (STUK, Helsinki; FIN) präsentierte Ergebnisse, die unter Einsatz des Hohlraumresonators aus seiner 2002 publizierten Arbeit jetzt von einer Arbeitsgruppe an der Universität von Pretoria (Südafrika) gewonnen wurden. Hierbei ging es um Einflüsse auf menschliche Spermien unter einer 900 MHz-GSM-Exposition (SAR = 2 W/kg, 1 Stunde in Kulturschalen exponiert). In früheren Versuchen der Arbeitsgruppe war ein Schrumpfen der Spermienköpfe unter dem Einfluss der Felder beobachtet worden. Die jetzt vorgestellten Untersuchungen an Spermien von 12 Spendern, in denen die Expression der Hitzeschockproteine HSP27 und HSP70 gemessen wurde, ergaben keine Veränderungen der HSP-Expressionen unter Feldeinfluss. Lediglich in einigen Proben wurde eine Erhöhung in der HSP27-*Phosphorylierung* ermittelt. Leszczynski zog daher den Schluss, dass das in früheren Versuchen beobachtete Schrumpfen der Spermienköpfe nicht auf die als Mechanismus vermutete Aktivierung von F-Actin (einem kontraktile Muskelprotein, das auch in vielen anderen Zellen vorkommt und dort zelluläre Bewegungsvorgänge hervorruft) durch die eingesetzten Mobilfunkfelder zurückzuführen sein kann. Möglicherweise spielten andere Wirkungsmechanismen eine Rolle.

## Dosimetrie

Wie schon bei der diesjährigen Tagung der EBEA in Bordeaux, wurden von **Myles Capstick** (IT'IS Foundation, Zürich) aus der Arbeitsgruppe von Niels Kuster wiederum nähere Details einer neuen Großanlage zur experimentellen Langzeitexposition von Ratten und Mäusen vorgestellt (zu Zusammenhang und weiteren Details siehe den entsprechenden Abschnitt im EBEA-Tagungsbericht in der vorliegenden Ausgabe des Newsletters'). Capstick erklärte, ein Vorteil des Expositionskonzepts liege darin, dass durch Einstellung der Bewegungsgeschwindigkeit der Metallpaddel (welche für eine „Verwirbelung“ der Feldmoden sorgen) viele Expositionsschemata nachgeahmt werden können, so zum Beispiel die Sendeleistungskontrolle der Handgeräte und der Basisstationen bei verschiedenen Mobilfunkstandards. Ein weiteres Thema war die automatisierte Trinkwasserversorgung der Tiere, bei der durch eine Neukonstruktion verhindert werden kann, dass diese beim Trinken an den Trinkstutzen durch Feldüberhöhungen überexponiert werden. Obwohl viel Aufwand getrieben wurde, um die Feldhomogenität in den Expositionskammern genau zu beschreiben (Messung mit 6 ver-

schiedenen E- und H-Feldsonden und 216 unterschiedlichen Positionen der zur Exposition verwendeten Antennentürme), wurde bei der Diskussion zum Vortrag genau in diesem Punkt Kritik laut. Capstick musste auf Nachfrage zugeben, dass die *punktuellen* Feldinhomogenitäten durchaus 20 – 30 dB betragen können, wenn *nicht* der gemittelte Wert der Feldstärkeverteilung zugrunde gelegt wird, sondern nur ein kleiner räumlicher oder zeitlicher Ausschnitt. Für *gemittelte* Werte wurden im Vortrag nur Inhomogenitäten im einstelligen Bereich zwischen 0,7 und 2,7 dB angegeben.

## Fazit

Insgesamt zeigte sich bei der Tagung der weiter fortgeführte Trend zu mehr medizinischen Anwendungen elektromagnetischer Felder, auf die hier nicht explizit eingegangen wurde. Der Schwerpunkt bei den Themen des Kongresses wird immer mehr auf die heilsamen und nützlichen Aspekte dieser Felder gelegt (Beispiel: Transkranielle Magnetstimulation) und zunehmend weniger auf die Erforschung möglicher schädlicher Auswirkungen.