

# Studien zu ho Fe

Frank Gollnick

In dieser Sitzung vermischten sich Übersichtsvorträge zu Forschung mit hochfrequenten Feldern, ein Vortrag zu thermodynamischen Wirkungsmechanismen, dosimetrische Themen und ein Vortrag zur Wirkung von Millimeterwellen.

**Cindy Sage** von Sage Associates in Santa Barbara, USA, eine bekannte Mobilfunkgegnerin mit eigener baubiologischer Firma und unter anderem Mitunterzeichnerin der bekannten „Salzburger Resolution“, stellte in ihrem Übersichtsvortrag zu abgeschlossenen EMF-Studien ihre Meinung dar, dass es im Zeitraum 1990 bis 2004 ein Verhältnis von 4 : 1 von veröffentlichten Studien gibt, die Bioeffekte bei Mobilfunkfeldern niedriger Intensität zeigen, gegenüber solchen Studien, die keine Effekte zeigen (401 : 118 Studien). Sie vertrat außerdem unter anderem die Ansicht, dass chronische Exposition Stress verursache und dass es negative kumulative Effekte in Bezug auf die Gesundheit gebe. Da in einem Kurzvortrag nur ausgewählte Beispiele entsprechender Literatur gezeigt werden können, waren die vorgebrachten Argumente im Rahmen der Sitzung nicht nachprüfbar. Sage forderte niedrigere Grenzwerte und entsprechende politische Maßnahmen in ihrem Land. In der Diskussion zum Vortrag stießen die gezeigte Auswahl von Literatur und die Begründung der geforderten Maßnahmen unter den anwesenden Experten hauptsächlich auf Widerspruch.



# Chfrequenten feldern (HF)

Ganz im Gegensatz zum vorigen Vortrag stand der Literatur-Übersichtsvortrag von **Mais Swicord** und Kollegen von den Motorola Labs in Ft. Lauderdale, USA. Swicord beschränkte seine Übersicht auf die vorhandene „peer-reviewte“ (also wissenschaftlich gegengeprüfte) Literatur zu *In-vitro*-Untersuchungen sowie zu *In-vivo*-Studien mit kurzfristiger (akuter) Exposition. Er entnahm sie aus der Basis von insgesamt etwa 1300 Studien zu biologischen Effekten hochfrequenter Felder, die in der Literaturlistenbank der Weltgesundheitsorganisation (WHO) aufgelistet sind. In Übersichten wurden die entsprechenden Zahlen vorhandener Publikationen und auch der noch laufenden Studien in Klassen mit und ohne biologische Effekte (soweit bereits veröffentlicht) sowie nach Untersuchungsgebieten unterteilt gezeigt. Swicord kam zu dem Schluss, dass in den Forschungsbereichen „DNA-Schäden“, „Genexpression“ und „Blut-Hirn-Schranke“ insgesamt kein eindeutiger Nachweis für schädigende biologische Effekte durch Hochfrequenzfelder erbracht wurde. Die Mehrheit der Publikationen auf diesen Gebieten berichte von keinen Effekten.

Ähnliche Schlüsse könnten aus der Analyse der Ergebnisse für andere Forschungsziele („Endpunkte“) gezogen werden. Daher erübrigten sich weitere Forschungsanstrengungen bei der Suche nach möglichen Wirkungsmechanismen oder möglichen gesundheitsschädlichen Effekten. In der anschließenden Diskus-

sion wurde, wie auch zum vorigen Vortrag, Kritik an der unvollständigen Auswahl der Literatur sowie an den gezogenen Schlüssen geübt.

**Asher Sheppard** (Asher Sheppard Consulting, Redlands, USA) und seine Kollegen Mais Swicord und Quirino Balzano von den Motorola Labs in Ft. Lauderdale, USA, setzten sich mit thermodynamischen Wirkungsmechanismen beim Einwirken hochfrequenter Felder auf kleinstes biologisches Material (Gewebeanteile, Zellen, Zellbestandteile, Moleküle) auseinander. Das Gezeigte fasste die Erkenntnisse diverser internationaler Workshops und Seminare zu dem Thema aus den letzten Jahren zusammen, außerdem zum Teil noch nicht veröffentlichte Ergebnisse von beauftragten konkreten Berechnungen, die von Motorola und dem MMF (Mobile Manufacturers Forum) finanziert wurden. Hierbei wurden Fragen aufgeworfen (und beantwortet), wie zum Beispiel:

- Wie warm kann eine sehr kleine wässrige Region (10  $\mu\text{m}$ , etwa die Größe einer biologischen Zelle) durch Feldeinwirkung werden? Berechnungen ergaben, dass die Wärmeleitung in diesen Dimensionen (selbst bei einem SAR von 10 W/kg) zu schnell und zu effektiv ist, als dass mikroskopisch kleine „Hot Spots“ entstehen können. Die Temperatur erhöht sich nach nur 3,5 Mikrosekunden Einschwingphase um nur  $10^{-8}$  K (was viel näher an 0

# Grenzen in der

liegt als alle sonstigen normalerweise auftretenden Temperaturveränderungen in einem solchen Zellvolumen).

- Können größere Moleküle (Makromoleküle) aus den Feldern von Funkanwendungen selektiv Energie aufnehmen, indem sie in Resonanz geraten? Auf der atomaren Ebene ist keine solche Resonanz möglich, weil die angrenzenden Wassermoleküle die Bewegung zu sehr dämpfen. Eine beispielhafte Berechnung für eine Häm-Gruppe (angeordnete Gruppe von Atomen im Hämoglobin, dem roten Blutfarbstoff) zeigte, dass die niedrigste Frequenz für ein mögliches Auftreten von molekularer Resonanz mit ca. 150 GHz etwa 100 mal größer ist als die Mobilfunkfrequenzen.

Insgesamt wurden durch eine Reihe neuer Rechenmodelle zwar Umstände aufgezeigt, unter denen die Energie elektromagnetische Felder von Funkanwendungen in Geweben, Zellen und Molekülen um ein Mehrfaches verstärkt werden können, jedoch verhindert der schnelle Wärmeaustausch (Wärmediffusion) wesentliche lokale Temperaturerhöhungen, die biologisch wirksam sein könnten. Nichtlineare Wechselwirkungen mit biologischem Material und Energieaufnahme durch Resonanz molekularer Strukturen seien, wie auch andere vorgeschlagene nicht-thermische Effekte, bei Frequenzen unterhalb von ungefähr 100 GHz sehr unwahrscheinlich. In der Diskussion zum Vortrag wurde angesprochen, ob weitere Forschung nicht den subzellulären Bereich, etwa die Wasserstruktur, noch intensiver in der aufgezeigten Richtung erforschen müsse. Im selben Zusammenhang wurde eine neue Publikation in der Zeitschrift „Nature“ vom Frühjahr 2004 erwähnt (Ritz et al., Nature 429:177, 2004), wonach der magnetische Kompass von Zugvögeln auf einer durch elektromagnetische Felder beeinflussbaren chemischen Reaktion („radical-pair mechanism“) beruhen soll (Bereich bis 10 MHz).

Ein neuer Ansatz zur Entwicklung und Erprobung eines Personendosimeters für elektromagnetische Felder wurde von **Joe Wiart** von der France Telecom präsentiert. In seiner Studie wurde das neu entwi-

ckelte und mittlerweile kommerziell verfügbare, tragbare System hochfrequenztechnisch analysiert. Der Arbeitsbereich des mit isotropen Sonden frequenzselektiv arbeitenden Geräts umfasst Rundfunk-, TV-, GSM 900-, GSM 1800- und UMTS-Felder. Das Dosimeter wurde an Personen bei ihren täglichen normalen Tätigkeiten wie auch stationär getestet.

Wiart und Kollegen analysierten den Einfluss des Körpers der das Gerät tragenden Person und entwickelten eine spezielle statistische Methode, um das System durch Kalibrierungsfaktoren möglichst genau an die verschiedenen Hauptcharakteristika der jeweils zu messenden Frequenzbänder anzupassen. Dieser statistische Ansatz wurde durch Referenzmessungen mit anderen frequenzselektiv arbeitenden Messgeräten überprüft und die Anpassung somit optimiert. In Verbindung mit anderen Methoden (numerische Kalkulation, Monitoring von Basisstationen) soll mit dem Gerät die Machbarkeit einer geplanten Bevölkerungsstudie getestet werden, in der die personenbezogenen Felddosen mit aufgezeichnet werden sollen. Durch Weiterentwicklung soll das Gerät in Zukunft automatisch erkennen (und entsprechend reagieren), ob es am Körper getragen oder stationär abgelegt wird. Eine automatische statistische Analyse der gewonnenen Daten und eine Erweiterung auf andere, noch interessierende Frequenzbänder sind ebenfalls vorgesehen.

**Mona Shum** und Kollegen (Exponent, Inc., Menlo Park, USA) arbeiten zur Zeit zusammen mit der Gruppe von Nils Kuster (IT'IS Zürich) und mit Asher Sheppard (Asher Sheppard Consulting, Redlands, USA) an einem größeren Projekt, in dem die Bedeutung von Parametern, wie Handydesign, Technik des Versorgungsnetzes, Dichte der Basisstationen, Aufenthaltsbereich, Tageszeit und regionale Netzversorgungsfaktoren für die am Handy ankommende Sendeenergie (beziehungsweise auch für die von dort abgestrahlte Energie) erforscht werden soll.

Dies wiederum ist in Bevölkerungsstudien zu chronischer Mobilfunk-Feldexposition ein entscheidender Faktor, der bislang nur unzureichend berücksichtigt werden konnte. Das Projekt wird von der amerikanischen Cellular Telephone and Internet Association

# werte Diskussion

(CTIA) in Zusammenarbeit mit der U.S. Food & Drug Administration (FDA) gefördert. Shum präsentierte vorläufige Ergebnisse einer Pilotstudie, in der einige der genannten Parameter mit modifizierten Mobiltelefonen gemessen wurden. Faktoren, welche die Variation der vom Handy ausgesandten Energie beeinflussen, wurden mit Hilfe einer internen Aufzeichnung der Sendeleistungskontrolle in den speziell entwickelten Handys bestimmt. Dabei wurden von angeleiteten Technikern bestimmte festgelegte Szenarien für den Betrieb eines Mobiltelefons in Räumen, im Freien und in Autos durchgespielt (zum Beispiel: in verschiedenen Etagen in einem Bürogebäude, mit dem Auto im Stadtverkehr oder auf der Autobahn, zu Fuß in der Stadt oder im Freien, zu verschiedenen Tageszeiten, mit oder ohne Freisprecheinrichtung, und so weiter). Die Techniker führten dabei jeweils sechsminütige, standardisierte Mobiltelefonate unter realistischen Bedingungen. Die Sendeleistung der Handys wurde während dessen alle 2,5 Sekunden in der Einheit Watt aufgezeichnet.

Die Pilotstudie ergab, dass mit der gewählten Methode aussagekräftige Daten gewonnen werden können. Hierauf aufbauend sollen die Daten im Weiteren zu einer Matrix von Expositionsparametern für die folgenden Teile der Studie verarbeitet werden. Außerdem sind als weiterer Schritt ähnlich ausgeführte Messungen mit insgesamt vier Kopfphantomen vorgesehen, wobei die modifizierten Mobiltelefone als Referenz dienen sollen. Am Ende des Projekts sollen die ermittelten Unterschiede genau den verschiedenen Anwendungsbedingungen zuzuordnen sein, was als wertvolle Basis für zukünftige Bevölkerungsstudien dienen kann.

Im letzten Vortrag dieser Sitzung trug **Robert Blystone** vom Air Force Research Lab in Brooks City-Base, USA, über die Wirkung von Millimeterwellen auf die Haut von Säugetieren vor, wobei es seinem Forschungsteam insbesondere auf die Temperaturentwicklung in den Hautschichten und deren computergestützte Sichtbarmachung ankam.

Hintergrund der Untersuchung war nach Aussage Blystones, dass die verwendeten Frequenzen 35 GHz und

94 GHz zunehmend kommerziell und militärisch genutzt werden. Befunden anderer Autoren zufolge kommt es unter ähnlich starker Behandlung mit den selben Frequenzen bei Ratten nach etwa einer Stunde zu einem ursächlich noch nicht erklärten Blutdruckabfall. Außerdem erhöht sich die Körperkerntemperatur auf bis zu 43° C. Wegen der geringen Eindringtiefe der Millimeterwellen ist eine direkte Aufheizung des Inneren der Tiere durch die Felder nicht möglich. Es ist noch ungeklärt, ob das Adergeflecht in der Haut über den Bluttransport für eine Wärmeleitung ins Körperinnere sorgt, oder ob über Temperatur- und Schmerzrezeptoren in der Haut ein nervengeleiteter Impuls eine innere Reaktion auslöst, oder ob noch ganz andere Phänomene eine Rolle spielen.

Blystone wendete an männlichen betäubten Ratten 35 GHz oder 94 GHz-Felder an einer rasierten Hautstelle (ca. 10 % der Körperoberfläche) mit einer Leistungsflussdichte von 75 mW/cm<sup>2</sup> für bis zu 75 Minuten an. Als zusätzliche Kontrolle diente eine Gruppe ohne Feldexposition, bei der die Umgebungstemperatur auf 42° C erhöht wurde. Um heraus zu finden, welchen Weg die eingestrahlte Energie nimmt, wurden Querschnittpräparate der exponierten Hautareale angefertigt und untersucht. Mit einer Infrarot-Thermographiesonde wurde während der Behandlung die Temperatur auf der Hautoberfläche und subkutan (im Bindegewebe unter der Haut) bestimmt. Die Maximaltemperaturen betragen 44° C (bei 35 GHz) und 48,5° C (bei 94 GHz) auf der Hautoberfläche sowie 46° C (bei 35 GHz) und 48° C (bei 94 GHz) im subkutanen Bereich. Die digitalisierten Bilder der Schnittpräparate von Haut und Haarfollikeln wurden zwei- und dreidimensional weiterverarbeitet und morphometrisch ausgewertet. Es wurden viele Detailinformationen gesammelt. Blystone konzentrierte sich dabei sehr auf den dreißigtägigen Haarzyklus bei Ratten und dessen Bedeutung für die Energieabsorption in der Haut, blieb jedoch letztlich die Antwort auf die oben erwähnte Kernfrage schuldig.

*Dr. rer. nat. Frank Gollnick ist Biologe und war lange Zeit wissenschaftlicher Mitarbeiter im Physiologischen Institut II der Universität Bonn. Er ist nun als Berater für die FGF tätig.*