

Dosime und Expos



Abb. 1: HF-Expositionsanlage mit 60 Käfigen für freilaufende Ratten

Gerd Friedrich

Die exakten Ermittlungen der Einwirkungen elektromagnetischer Wellen und Felder auf biologische Systeme in Natur und Experiment sind nach Jahren des Dornröschenschlafes endlich hoffähig geworden und werden als notwendige wissenschaftliche Voraussetzung für biologische Experimente anerkannt. Lange hat es gedauert, bis der Fachdisziplin „Ingenieurwissenschaften“ auch der notwendige Raum zur Diskussion eingeräumt wurde. Früher eher geduldet, denn als notwendig angesehen.

Dabei sind die möglichst exakte Berechnung der realitätsnahen Erfassung der elektromagnetischen Felder, die sogenannte „Dosimetrie“, und der richtige Entwurf und Aufbau von Expositionseinrichtungen beliebte Themen für jedes ehrgeizige Forschungs- und Entwicklungsteam, besonders wenn Ingenieure – gemäß dem Motto „einem Ingenieur ist nichts zu schwer“ – am Werk sind. Gewiss ein Kalauer, aber unbestrittene Tatsache ist, dass der aufgaben- und fachgerechte Entwurf einer Expositionseinrichtung und z. B. die exakte Berechnung des Energieeintrags in Versuchsobjekte eine nicht zu vernachlässigende und schwierige Herausforderung an die Bearbeiter darstellen.

So waren mit 9 ¼ Stunden die **Dosimetrie** – aufgeteilt in 5 Sitzungssektionen (Session I bis V) – und eine Session für **Expositionseinrichtungen** mit 1 ¼ Stunden in Dublin breit vertreten und gehörten mit Recht zu den viel diskutierten und beachteten Themenbereichen. Nicht zu vergessen die zahlreichen Poster mit ihren vielfältigen Ideen und Neuerungen.



Expositionseinrichtungen

Aber entspricht dieser großzügig bereitgestellte zeitliche Rahmen – und damit das quantitative Angebot an Präsentationen – auch den qualitativen Anforderungen der zuhörenden Teilnehmer? Im Großen und Ganzen kann diese Frage positiv beantwortet werden. Bei den Vorträgen in der Session 4: „**Exposure assessment**“ sind aus meiner Sicht einige Beiträge besonders als interessant herauszustellen: Zunächst der Vergleich von gemessenen SAR-Werten (Spezifischen Absorptionsraten) von anatomisch richtigen Kopfphantomen, Flachtank-Phantomen und realistischen Torso-Phantomen. Den größten Einfluss auf den gemessenen SAR-Wert stellt die Positionierung der Geräte dar, zumal sich manche Geräte durch ihre besonderen Abstrahlcharakteristiken (z. B. patch antenna) zusätzlich sehr unterscheiden. Es wurde herausgefunden – durch die Arbeitsgruppe um P. Chadwick –, dass die Werte zwischen dem Flachbett- oder dem realistischen Torso-Phantom zum Kopf-Phantom sehr unterschiedlich sein können.

Obwohl man sich zur Vermessung von Mobilfunkgeräten inzwischen auf Standardmesspositionen, Test-Prozeduren und -vorschriften geeinigt hat, dürfte die wissenschaftliche Auseinandersetzung um die exakte Ermittlung der SARs noch weiter gehen. So kann man insgesamt festhalten, dass viele Arbeiten sich mit numerischen Analysen zur „richtigen“ SAR-Bestimmung von neu entwickelten Phantomköpfen (Stichwort: „SAM Specific Anthropomorphic Mannequin“ vorgeschlagen als Standardphantom durch CENELEC) beschäftigten. Auch den anatomischen Unterschieden der Körper und Köpfe z. B. zwischen Erwachsenen und Kindern oder zwischen Angehörigen verschiedener Rassen wurden vielfältige Studien gewidmet.

Darüber hinaus dürften sich bei neuen funktechnischen Anwendungen mit anderen Nutzungsgewohnheiten neue, andere Tragegewohnheiten herausbilden. Telefone z. B. müssen ihre Sendeeinheiten zukünftig nicht mehr in der Nähe des Kopfes haben, angedacht ist z. B., dass die Sendeeinheit sich auf Gürtelhöhe befindet. Ganz neue Körperregionen würden bei aktivem Betrieb dann einer Exposition ausgesetzt sein. Erste Überlegungen (Arbeitsgruppen der U.S. Food and Drug Administration (FDA) und der Universität of Houston, Texas) befassen sich bereits mit der Entwicklung von CAD-Modellen als Vorbereitung für numerische Kalkulationen von SAR-Werten von Föten im Mutterleib.

Während die thermischen Wirkungsbeziehungen von elektromagnetischen Wellen auf biologische Stoffe inzwischen genügend abgeklärt sind und die Berechnung der Einwirkungen durch mathematische Methoden im Lauf der Zeit immer mehr perfektioniert werden konnte, fehlen nach wie vor wissenschaftliche Erkenntnisse um Einwirkungen unterhalb thermischer Wahrnehmungsgrenzen.

Da trotz jahrelanger Forschung bis heute kein reproduzierbarer Nachweis biologischer Wirkungen schwacher elektromagnetischer Felder geführt werden konnte, muss auf den exakten Aufbau richtig dimensionierter Expositionseinrichtungen großer Wert gelegt werden. Deshalb hat die jahrelange Suche nach nicht-thermischen Effekten bei der Nutzung von Funkanwendungen zu einem großen Anstieg von experimentellen Versuchen geführt. Nicht immer mit großem Erfolg. So sind immer wieder – besonders bei neuen Arbeitsgruppen – „handwerkliche“ Fehler beim Aufbau von Experimentiereinrichtungen festzustellen.

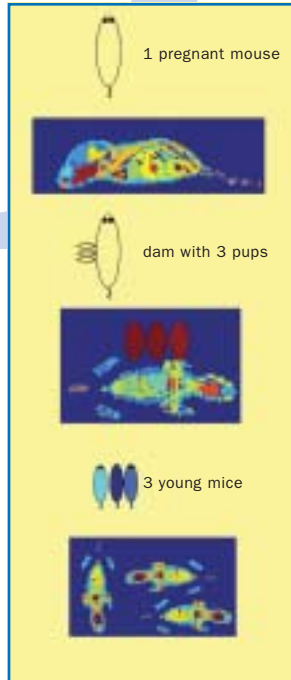


Abb. 2: Ratten-Modelle für SAR-Berechnung

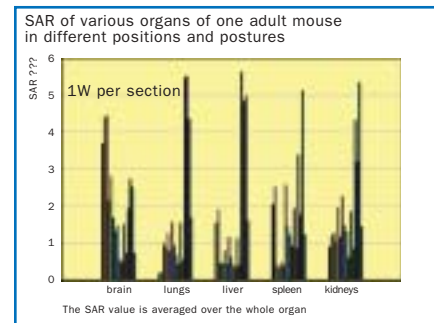
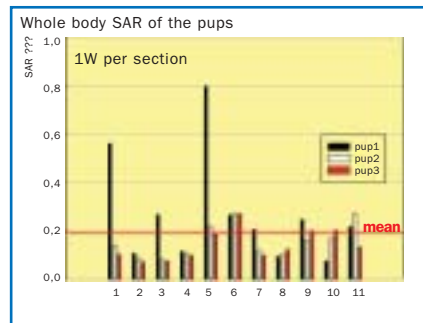
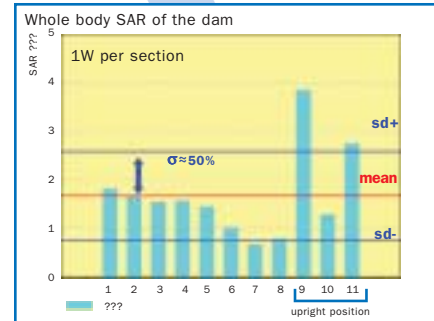
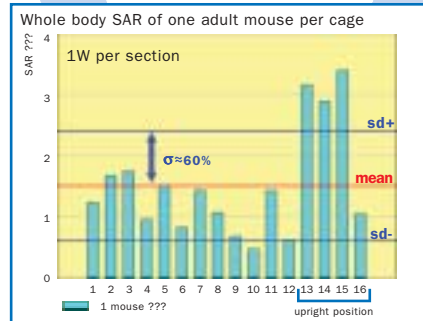



Abb. 3: SAR-Berechnung

Erinnert sei an die Worte von Joachim Streckert, Universität Wuppertal, der in seinem Vortrag: **„Anforderungen an technische Einrichtungen zur Untersuchung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf biologische Systeme“** (gehalten anlässlich des wissenschaftlichen Symposiums zur 10-Jahres-Feier der FGF in Berlin im Jahr 2002) herausstellte, dass zur Exposition biologischer Objekte hohe Anforderungen an hochfrequente Experimentaleinrichtungen gestellt werden müssen. Wichtig sind zum Beispiel:

- ein ausreichendes Messvolumen
- eine gute Abschirmung gegen externe Felder
- die Erzeugung eindeutig definierter Feldverteilungen am Testobjekt
- die gleichwertige Exposition aller Objekte bzw. der Probanden
- die ausreichende Zuführung von Licht, Luft, Nährstoff und Wärme usw.
- die Integration von Messvorrichtungen usw..

Durch neu hinzugekommene Forschergruppen scheint – bei einigen gezeigten Experimenten – vieles des bisher erworbenen Wissens in Vergessenheit geraten

zu sein, oder es wurde trotz jahrelanger Diskussionen von einigen Gruppen nicht verinnerlicht. Beispielhaft im positiven Sinn sollen hier die verdienstvollen Arbeiten der Arbeitsgruppen um Prof. Niels Kuster, ITIS, ETH Zürich, und um Prof. Volkert Hansen, Universität Wuppertal, herausgestellt werden, die mit ihren Präsentationen zu verschiedenen Aufgabenstellungen alljährlich die Teilnehmer der BEMS-Veranstaltungen beeindrucken. Viele ihrer Ideen und Vorstellungen sind inzwischen wissenschaftliches Allgemeingut beim Design von Expositionseinrichtungen geworden. Interessant war ein Beitrag der Arbeitsgruppe Prof. Kuster zur Einschätzung der Exposition durch drahtlose Verteilung von Sprache und Daten in häuslichem Umfeld und am Arbeitsplatz (sogenannte short range devices). Diese Befeldung – obwohl sehr schwach – kann, bedingt durch unterschiedliche Angaben der gemessenen Ausgangsemissionen und Gebrauchssituationen im Alltag, oft nur sehr schwer und aufwändig abgeschätzt werden. Als Ergebnis stellte die Arbeitsgruppe heraus, dass alle getesteten Geräte die bestehenden Expositionsbedingungen einhalten und diese Anwendungen dennoch in der Leistungsfluss-



dichte oberhalb der eingestrahelten Emissionen von Rundfunk- und Mobilfunkstationen (entsprechend dem Testszenarium) liegen. Hier wird sicherlich für die Zukunft – durch Zunahme des Einsatzes und Gebrauchs – Zündstoff für die öffentliche Debatte entstehen. Durch die „explosionsartige“ Steigerung der Rechenleistung der modernen Computer ist die Kalkulation von immer mehr Parametern und riesigen Datenmengen möglich. Ein sehr aufwändiges Rechenverfahren (ein speziell entwickeltes Hybridverfahren basierend auf der Integralgleichungsverfahren und der Finite Difference Time Domain (FDTD)) wurde von der Arbeitsgruppe um Prof. Hansen zur effizienten Berechnung der menschlichen Exposition durch Basis-Mobilfunkstationen entwickelt. Diese berechneten Abschätzungen der spezifischen Absorptionsraten (messen ist unwahrscheinlich schwierig, wenn nicht gar unmöglich) sind besonders für berufsbedingte Situationen wichtig. Ein besonderes Anwendungsgebiet sind Installations- und Wartungsarbeiten im Feld aktiver Antennen. Diese Berechnungen liefern realistische Einschätzungen für die Teil- und Ganzkörperbefeldung mit Einbeziehung aller Antennencharakteristiken unter Nah- und Fernbedingungen und der Feldverteilung innerhalb des menschlichen Körpers.

Es ist schon gigantisch anzusehen, welch großer Aufwand betrieben wird und werden muss, um 60 Mäuse und ihre Nachkommen für ein Langzeitexperiment¹ richtig und gleichmäßig zu exponieren. Zu sehen ist – auf einem ausgestellten Poster über ein Experiment in Hannover zur Bestimmung biologischer Endpunkte über mehrere Generationen – eine dreistufige Experimentiereinheit der Arbeitsgruppe der Universität Wuppertal. Um eine gleichförmige Befeldung der Mäuse zu gewährleisten, ist ein hohes Maß an Symmetrie notwendig. Die Expositionseinheit basiert auf drei radialen Wellenleitern mit Absorbermaterial an den Außenteilen. Die einspeisenden Antennen befinden sich in der Mitte der Wellenleiter. Die 60 Käfige sind in konstanter Entfernung vom Zentrum im Kreis angeordnet. Mit Hilfe numerischer Kalkulationen werden die SAR-Werte der 60 Muttertiere und deren ca. 200 Nachkommen bestimmt (siehe Abb. 1, Seite 8). Neben der Versorgung der Tiere mit Wasser wird auf die

zugluftfreie Belüftung der Anlage großer Wert gelegt. Man darf auf die Präsentation der Ergebnisse des biologischen Experimentes – vielleicht auf der BEMS 2006 – gespannt sein.

Für die experimentellen Studien ist oft die exakte Temperaturbestimmung bzw. die Temperaturverteilung in der Probe eine wichtige Bedingung. So wurde als Neuigkeit ein hoch-auflösendes Multi-Kanal-Thermometer für die hochfrequente Dosimetrie präsentiert. Als besonders wichtig wurde durch die Arbeitsgruppe von CR ENEA² die Temperaturmessung bzgl. zwei Gesichtspunkten hervorgehoben: Messen des Temperaturquotienten für die experimentelle Evaluierung der SAR-Werte und das Aufzeichnen des Temperaturverlaufes während biologischer Experimente, um eventuelle thermische Effekte feststellen zu können. Die Erhebung der „abgekommene Dosis“ ist für **epidemiologische Studien** von essentieller Bedeutung. Bisher angewiesen auf die persönlichen Einschätzungen der befragten Probanden blieb die Bestimmung der tatsächlichen „Belastung“ immer ein wesentlicher Schwachpunkt der Epidemiologie. So wurde die Entwicklung eines „Persönlichen Dosimeters“, das die tatsächlichen „Einwirkungen“ exakt aufzeichnet, von verschiedenen Arbeitsgruppen z. B. durch die Arbeitsgruppe um Joe Wiart, France Telecom, vorangetrieben. Erste Erfahrungen konnten im Praxiseinsatz damit schon gemacht werden.

Zusammenfassend lässt sich aussagen, dass besonders im Bereich der Dosimetrie und dem Bau von Expositionseinrichtungen für Experimente ein wissenschaftlicher Fortschritt Jahr für Jahr auf der BEMS zu verzeichnen ist. Dies gilt auch besonders für den Kongress 2005. Oder ketzerisch ausgedrückt, wenn alle anderen Disziplinen neben den ingenieurwissenschaftlichen ähnliche Fortschritte zu verzeichnen hätten, wäre die Klärung der EMVU-Gesamtsproblematik eigentlich nur eine Frage der Zeit. Oder?

Dr.-Ing. Gerd Friedrich, Forschungsgemeinschaft Funk

Fußnoten

- 1 T. Reinhardt, A. Bitz, J. Streckert, V. Hansen, C. Darenbrock, T. Tillmann: 60 cager-exposure system for long-term experiments with non-restrained mice)
- 2 A new multichannel high resolution thermometer for radio frequency dosimetry. L. Ardonino, et.al.. CR ENEA, Rom, Italien