



Workshop

„Vorgeschlagene Mechanismen

für die Wechselwirkung hochfrequenter Felder mit lebender Materie – Demodulation in biologischen Systemen.“

Bernard Veyret

Der Workshop fand vom 11. – 13. September 2006 an der Universität Rostock statt und wurde vom Lehrstuhl für Biophysik der Universität zusammen mit der FGF, COST 281 und EMF-Net organisiert. Er war angesetzt als „abschließendes Ereignis“ einer Reihe von Workshops und Seminaren innerhalb der letzten sechs Jahre, die sich mit dem Thema Wirkungsmechanismen hochfrequenter Felder auf lebende Materie befasst hatten (siehe Liste weiter unten). Das Hauptziel des Workshops lag in der Konsensfindung innerhalb der auf diesem Gebiet arbeitenden Wissenschaftler.

Das Treffen mit 45 Teilnehmern aus Europa, den USA und Japan fand an der Universität Rostock statt. Neben Präsentationen und dem Besuch von Laboren war ein Großteil der Zeit anregenden Diskussionen gewidmet. Vorträge, die sich mit experimentellen Arbeiten beschäftigten bzw. sich nicht direkt auf Demodulationsmechanismen bezogen, werden in diesem Bericht nicht behandelt.

Da der Fortschritt in der bioelektromagnetischen Forschung sowohl auf Experimente als auch auf Theorie aufbaut, erstellte die FGF eine Datenbank mit allen publizierten Studien, die die Effekte von unmodulierten (CW, continuous wave) mit denen modulierter (z. B. gepulste oder andere amplitudenmodulierte, PW oder AM) Felder vergleicht. Diese Datenbank wurde von Margarita Simeonova, vormals an der Universität Rostock, vorgestellt (info@fgf.de). Sie enthält 163 Veröffentlichungen, die zwischen den Jahren 1967 und 2006 publiziert wurden. Die Trägerfrequenzen liegen hauptsächlich bei 0,9, 1,8 und 2,45 GHz. Die Auswertung der Datenbank ergab, dass (1) in der Hälfte der Studien eine Temperaturkontrolle fehlt (!), (2) es keine Studien zu Krebs und Stress gibt, die einen

Unterschied zwischen PW- und CW-Exposition aufzeigen, während vier gentoxische und 14 Studien, die sich mit dem Nervensystem befassten, Unterschiede aufzeigten. Es ergab sich, dass lediglich ein kleiner Anteil der Studien (29 %) wirklich relevant für die Untersuchung war und Unterschiede in der Wirksamkeit der Felder häufiger unter kurzzeitiger Exposition auftraten (und häufiger in Europa!). Diese schon lange erwartete Datenbank wird bald auf CD bei der FGF verfügbar sein.

Der Hauptdiskussionspunkt des Treffens war die Demodulation von amplitudenmodulierten Hochfrequenzfeldern. Die Notwendigkeit von Definitionen wurde deutlich, da Physiker, Ingenieure und Biologen den Begriff „Demodulation“ unterschiedlich interpretieren. **Tobias Weber** von der Universität Rostock (tobias.weber@uni-rostock.de) gab einen historischen Überblick zur HF-Modulation und –Demodulation und stellte seine Sicht der zukünftigen Technik auf diesem Gebiet dar.

Ein HF-Signal ($s(t) = A(t) * \sin(2\pi f(t) + \phi(t))$) kann auf dreierlei Art und Weise moduliert werden: Amplitude ($A(t)$), Frequenz (f) oder Phase ($\phi(t)$). Prof. Weber erläuterte die unterschiedlichen Methoden, wie dies erreicht werden kann und wie die Demodulation am Empfänger funktioniert. Modulatoren müssen nicht-linear oder zeitvariant sein. Zukünftige Anwendungen werden in Raum und Zeit moduliert werden (z. B. MIMO, Multiple-input multiple-output).

Ein anderer Ansatz der Beschreibung der Demodulation wurde von **Ken Foster** (kfoster@seas.upenn.edu) vorgestellt. Er erinnerte die Zuhörer, dass es im Frequenz-Spektrum amplitudenmodulierter HF-Signale keine niederfrequente Komponente gibt. Jedoch enthält das Intensitäts-Spektrum dieser Signale niederfrequente Anteile. Es ist bekannt, dass Demodulation in biologischen Systemen auftreten kann, wenn nichtlineare Elemente – wie in der Membran – vorhanden sind. Allerdings ist dies nur bis in den MHz-Bereich möglich, nicht im GHz-Bereich, wie er in der mobilen Kommunikation genutzt wird.

Innerhalb des MTHR-Programms in Großbritannien – koordiniert durch **Lawrie Challis** (lawriechallis@aol.com) – werden derzeit 16 Studien an Freiwilligen durchgeführt, die mögliche Modulationseffekte auf-

spüren sollen (10 mit GSM-Telefonen, fünf mit TETRA-Systemen und eine mit Basisstationen). Vier Tierstudien beinhalten u.a. Replikationen der de Pomerai-Studie mit Nematoden (Fadenwürmer) und der Ergebnisse von Bawin und Adey zum Kalzium-Efflux.

Die bisherigen Ergebnisse des MTHR-Programms deuten in die Richtung, dass keine Effekte nachweisbar sind. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage nach der Natur eines Mechanismus für Effekte bei chronischer Exposition – falls solche existieren.

Eines der derzeit laufenden Schlüsselprojekte zur Demodulation wird von **Quirino Balzano** (qbalzano@glue.umd.edu, University of Maryland, USA) und **Peter Excell** (p.s.excell@bradford.ac.uk, University of Bradford, GB) geleitet, es ist Teil des MTHR-Programms. Es geht dabei darum, die Emission von Zellen bei 1800 MHz (TE_{113} -Modus) aufzuspüren, wenn sie mit 900 MHz (TE_{111} -Modus) innerhalb eines Hohlraumresonators exponiert werden. Damit soll die grundsätzliche Frage geklärt werden, ob biologische Zellen in diesem Frequenzbereich zu nichtlinearen Reaktionen befähigt sind. Das System soll in der Lage sein, Emissionen zu detektieren, wenn im Resonator mindestens 6000 nichtlineare Oszillatoren vorhanden sind (In einer Petri-Schale werden eine Millionen Zellen exponiert, die sich in einer geringen Menge Medium befinden). Das Experiment wird derzeit in Großbritannien durchgeführt, Ergebnisse werden in wenigen Monaten erwartet.

Einer der Organisatoren, **Lutz Haberland** (lutz.haberland@uni-rostock.de, Universität Rostock) gab einen Überblick zu den bisherigen acht Workshops:

1. Biological and Biophysical Research at Extremely Low- and Radio-Frequencies: (1) Application of Research Results across the Frequencies and Modulation Schemes of Present and Future Wireless Technologies, and (2) Demodulation in Biological Systems. Bad Münstereifel, Deutschland, 4. – 5. Dezember 2000 (FGF)
2. Mechanisms for Interactions of Radiofrequency Energy with Biological Systems. Washington, D.C., USA, 22. – 23. Mai 2001 (MMF)
3. Physical Effects of Pulsed RF Fields at Microscopic and Molecular Dimensions (Microdosimetry). Dresden (Deutschland), 17. – 19. Dezember 2001 (FGF)



4. Review of Progress in Research on Interaction Mechanisms for RF Energy and Biological Systems. Rockville, USA, 30. – 31. Oktober 2002 (MMF)
5. Subtle Temperature effects of RF-EMF. London, UK, 12. – 13. November 2002 (COST 281)
6. Quantifying Biophysical Mechanisms for RF Interactions. Plantation, Florida, USA, 22. – 23. März 2004 (MMF)
7. Do sinusoidal versus non-sinusoidal waveforms make a difference? Zürich, Schweiz, 17. – 18. Februar 2005 (COST 281)
8. Subtle Thermal Effects of RF-Fields *in vitro* and *in vivo*. Stuttgart, Deutschland, 21. – 23. November 2005 (FGF)

Er erinnerte die Zuhörer daran, dass eine resonante Absorption von HF-Feldern durch Makromoleküle erst bei mehr als 100 GHz angenommen wird. Des weiteren zitierte er verschiedene Übersichtsarbeiten, u.a. jene von Glaser und Foster (2006, Health Physics, eingereicht), die sich mit thermischen und mikrothermischen Effekten beschäftigt.

Friedemann Kaiser (friedemann.kaiser@physik.tu-darmstadt.de, Technische Universität Darmstadt) sprach über nichtlineare Dynamiken, Signalverstärkung und die Arbeit von Prof. Fröhlich, die oft zitiert und kommentiert wird als Grundlage für Mechanismen von HF-Feldern auf biologische Systeme. Friedemann Kaiser stellte jedoch fest, dass Prof. Fröhlich niemals behauptet hat, dass seine Theorien und Modelle biologische Effekte von HF-Feldern erklären könnten. „Zellen sind keine Laser!“ und „Es gibt keine Absorption durch die DNS!“ waren die wesentlichen Botschaften von Prof. Kaiser.

Speziell zu dielektrischen Eigenschaften von Zellen nahm Prof. **Jan Gimsa** (jan.gimsa@uni-rostock.de, Universität Rostock) Stellung, der zeigte, dass die Zellpolarisation durch externe Felder zu Bewegungen oder Deformationen der Zellen führt. Im elektromagnetischen Feld können sich Zellen – in vereinfachter Sichtweise – wie Luftblasen bzw. Wassertröpfchen verhalten. Bei niedrigen Frequenzen entsteht kein elektrisches Feld im Inneren der Zelle, während bei höheren Frequenzen die Zellmembran für das Feld durchlässig wird. Bei geeigneter Frequenz und Intensität können Zellen deformiert, ausgerichtet, angezogen, gedreht oder bewegt werden.

Andere Ansätze wurden von Prof. **Guglielmo D’Inzeo** (dinzeo@die.uniroma1.it) der Universität „La Sapienza“ Rom in seiner Präsentation „Von Molekulardynamik zu zellulären Netzwerken“ benannt. Die Hauptideen hinter seiner Arbeit sind:

- Die Integration des Zusammenwirkens von elektromagnetischen Feldern mit Strukturen verschiedener Größenordnung und Komplexität.
- Die Benutzung verschiedener Methoden um die Wechselwirkung und ihre Konsequenzen zu beschreiben (Quantenchemie, Molekulardynamik, neuronale Netzwerkmodellierung etc.)

Gleichzeitig wird der experimentelle Beweis gesucht, um den theoretischen Ansatz zu unterstützen.

Die letzte Präsentation wurde von Prof. **Roland Glaser** (roland.glaser@rz.hu-berlin.de, Humboldt-Universität Berlin) über Thermorezeptoren und das, was er als kleine thermische Effekte bezeichnete, gegeben. Prof. Glaser zeigte, dass spezielle Arten eine hohe Temperatursensitivität haben (z. B. die Boa constrictor, die 3 mK im Infrarotbereich detektieren kann!). Alle Thermorezeptoren basieren auf Veränderungen in der makromolekularen Struktur:

- RNA-Thermometer, d.h. sogenannte „ribo-switches“, die z. B. eine Hitzeschockprotein (HSP)-Expression auslösen können,
- TRP (transient receptor potential)-Kanäle (Benham, C. D.; Gunthorpe, M. J., and Davis, J. B. *TRPV channels as temperature sensors* Cell Calcium. 2003; 33(5-6)479-487)

Es besteht Forschungsbedarf über die Rolle, die diese Thermorezeptoren in der Detektion von HF-Signalen spielen.

Zusammenfassend wurde Übereinstimmung erreicht (zumindest bei den anwesenden Wissenschaftlern) über die Tatsache, dass der einzige etablierte Mechanismus der thermische ist, d. h. die Effekte werden durch Temperaturanstieg im lebenden System hervorgerufen. Jedoch verdienen verschiedene andere Modelle und Hypothesen weitere Untersuchung und Ausarbeitung.

Prof. Dr. Bernard Veyret, Universität Bordeaux