



Suche nach Mechanismen

für biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF)

Lutz Haberland

„Wie wirken hochfrequente Felder im biologischen System?“ Die Antwort: „Sie bringen geladene Teilchen und Dipole in Bewegung, was zur Erwärmung führt.“ Diese Erwärmung wurde für die Festsetzung der Grenzwerte als wirksame Größe herangezogen.

Ist der Sachverhalt wirklich so einfach? Der menschliche Körper ist sehr komplex aufgebaut mit Bereichen sehr unterschiedlicher Leitfähigkeiten; viele Lebensprozesse laufen elektrisch ab, Informationsübertragungen beruhen großenteils auf der Bewegung geladener Teilchen, chemische Reaktionen gehen mit Ladungsänderungen einher. Diese Gegebenheiten und Prozesse zu beeinflussen sollen HF-EMF unterhalb der Intensitäten, die zu einer schädlichen Erwärmung führen können – und abzüglich der in den Grenzwerten beinhalteten Sicherheitsfaktoren – nicht in der Lage sein?

Dies konnten viele schon aus rein wissenschaftlicher Neugier so nicht stehen lassen, und so begann – im Übrigen schon lange vor der Zeit der Mobiltelefone – die Suche nach den nicht-thermischen Wirkungsmechanismen. Aber warum eigentlich „nicht-thermisch“? (Einmal davon abgesehen, ob damit „ohne messbare Temperaturerhöhung“ oder ein „Mechanismus, der nicht auf Temperaturerhöhung beruht“ gemeint ist.) Die Grenzwerte schützen nur vor thermischen Schäden (mit Sicherheitsfaktoren, um möglichst alle biologischen und sonstigen Variationen einzubeziehen), nicht vor Temperaturerhöhungen an

sich. Somit müssten eigentlich sehr kleine beziehungsweise lokal begrenzte Temperaturerhöhungen mit zu den nicht-thermischen Wirkungsmechanismen gezählt werden, denn eigentlich geht es ja darum Wirkungen unterhalb der Grenzwerte zu entdecken, die möglicherweise schädliche Auswirkungen haben können. Die zusammenfassende Bezeichnung „nicht-thermisch“ für alle diese Mechanismen ist folglich nicht ganz korrekt, hat sich aber leider eingebürgert.

Mitte der 1990er Jahre wurde zwar viel zu Mechanismen publiziert, jedoch fehlte etwas der Überblick. Deswegen begann der Autor 1996 am Lehrstuhl für Experimentelle Biophysik der Humboldt-Universität Berlin bei Prof. Roland Glaser eine Literaturstudie, die 1999 als kleines Buch unter dem Titel: „Hypothesen zu zellulären, nichtthermischen Wirkungsmechanismen elektromagnetischer Felder. (EMF bis ca. 1012 Hz)“ erschien. Viele der dort aufgeführten Hypothesen wie die Mikroelektrophorese oder das Stochastische Rauschen erwiesen sich als real existierende Mechanismen, ließen sich aber nicht auf Intensitäten unterhalb der Grenzwerte anwenden. Einige neue wie die spezifische Wirkung auf Temperaturrezeptoren kamen hinzu, und Magnetite sowie insbesondere der Radikalpaar-Mechanismus werden auch heute noch diskutiert.

Die FGF förderte die Forschung auf diesem Gebiet in der Folgezeit vor allem durch die Organisation von Workshops und Seminaren, die Initiierung von Fachartikeln, sowie die

Unterstützung von Forschungsprojekten, die insbesondere die heterogene Absorption von HF-EMF im mikroskopischen Bereich untersuchen und Hypothesen zur Kalzium-Aktivität in biologischen Zellen verifizieren sollten.

Darüberhinaus nahmen FGF-Mitarbeiter an Veranstaltungen teil, die auch das Thema Wirkungsmechanismus behandelten. Dazu gehörten die großen Konferenzen der Bioelectromagnetics Society (BEMS) und der European Bioelectromagnetics Association (EBCA), aber auch kleinere Workshops wie die des Bundesamtes für Strahlenschutz oder die mehr oder weniger jährlich stattfindenden „Internationalen Fröhlich-Symposien“ in Prag. Bei diesen Symposien wurden vor allem Variationen des Themas „Resonanzen in biologischen Systemen durch interne oder externe EMF“ behandelt. Der Wissenszuwachs dieser zuletzt genannten Tagungen war allerdings eher gering, wie aus dem Bericht zur Veranstaltung im Jahre 2000 hervorgeht: „Unter anderem wegen des Nichterscheinsens einiger Referenten waren einzelne Vorträge durch ausführliche Betrachtungen der eigenen Arbeitsorganisation und Lebensphilosophie geprägt, was der Veranstaltung insgesamt nicht zuträglich war.“ Inhaltlich wurden diese Veranstaltungen daraufhin weiter verfolgt, die FGF nahm aber nicht mehr daran teil.

- 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, 2000
- Mechanisms for Interactions of Radiofrequency Energy with Biological Systems, Washington, D.C., USA, 2001 (zusammen mit dem Mobile Manufacturers Forum, MMF)
- Physical Effects of Pulsed RF Fields at Microscopic and Molecular Dimensions (Microdosimetry), Dresden, 2001
- Review of Progress in Research on Interaction Mechanisms for RF Energy and Biological Systems, Rockville, USA, 2002 (zusammen mit dem Mobile Manufacturers Forum, MMF)
- Subtle Temperature effects of RF-EMF, London, UK, 2002 (zusammen mit COST 281)
- Quantifying Biophysical Mechanisms for RF Interactions, Plantation, Florida, USA, 2004 (zusammen mit dem Mobile Manufacturers Forum, MMF)
- Do Sinusoidal versus Non-sinusoidal Waveforms make a Difference? Zürich, Schweiz, 2005 (zusammen mit COST 281)
- Subtle Thermal Effects of RF-Fields in vitro and in vivo, Stuttgart, 2005 (zusammen mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg)
- Proposed Mechanisms for the Interaction of RF-Signals with Living Matter - Demodulation in Biological Systems Rostock, 2006 (zusammen mit der Universität Rostock)

Als Ergebnis dieser Workshops wurden unter anderem verschiedene Forschungsprojekte initiiert, die wesentlich zur Erweiterung des Wissensstandes beitrugen. Zusammen mit den Resultaten anderer Forschungsprojekte ist man sich heute weitgehend einig, dass

- das Konzept einer elektrischen Demodulation im biologischen System unterhalb einer Trägerfrequenz von circa 10 MHz weder von einer vertretbaren Theorie noch von experimentellen Beweisen gestützt wird,
- nicht spezielle Modulationscharakteristika sondern



Die FGF selbst versuchte durch die Kooperation mit anderen Organisationen möglichst viele Wissenschaftler und Interessenvertreter in ein Boot zu holen. Daraus entstand eine Serie von Veranstaltungen, die im Folgenden aufgelistet ist:

vielmehr die Spezifische Absorptionsrate (SAR: absorbierte Strahlungsintensität pro Masse Gewebe) als sinnvolle dosimetrische Messgröße zu betrachten ist,

- die thermische Demodulation - insbesondere in ihrer Form des „Mikrowellen-Höreffektes“ - in den geltenden Sicherheitsgrenzwerten ausreichend berücksichtigt wird,
- eine resonante Energieabsorption in biologischen Makromolekülen nach neuesten Modellrechnungen für Frequenzen kleiner 100 GHz als sehr unwahrscheinlich gilt.

Allerdings gibt es Hypothesen zu weiteren Wirkungsmechanismen beziehungsweise zu spezifischen thermischen Effekten, die derzeit diskutiert werden. Sie lassen sich vorwiegend in die Gruppe der sogenannten mikrothermischen Wirkungen einordnen. Einige seien im Folgenden kurz beschrieben:

- Eine erhöhte Energieabsorption in mikroskopisch kleinen Gebieten erhöhter Leitfähigkeit: Dies können Schichten gebundenen Wassers an Membranen sein, aber auch spezielle Membranbereiche, oder Magnetite (Magnetosomen) im biologischen Gewebe. Im Allgemeinen wird jedoch davon ausgegangen, dass sich im Bereich der Größenordnung von Zellen und darunter die absorbierte Energie schneller in die Umgebung verteilt als dass biologische Wirkungen möglich sind.
- Eine erhöhte Energieabsorption durch strukturelle Besonderheiten im mikroskopischen und Nano-Bereich: Dazu gibt es einige Experimente an künstlichen Membranen, mit metallischen Nanopartikeln verbundenen oder anderweitig modifizierten Makromolekülen sowie Wassertröpfchen in Ölsuspensionen. Für die beobachteten Effekte gibt es bislang keine erschöpfenden Erklärungsmodelle.
- Eine unmittelbare Wirkung auf molekulare Temperaturrezeptoren, da diese durch einen speziellen Rauschunterdrückungsmechanismus eine hohe Empfindlichkeit aufweisen.
- Der schon erwähnte Radikalpaar-Mechanismus: HF-EMF sollen die Lebenszeit von Radikalpaaren verlängern können, bevor diese rekombinieren, und damit deren potentielle Schädlichkeit erhöhen. Dieser

Mechanismus ist für relativ hohe Intensitäten statischer und niederfrequenter Magnetfelder nachgewiesen, für hochfrequente Felder noch nicht. Derzeit gilt insbesondere der Frequenzbereich um 10 MHz als erfolgversprechendstes Untersuchungsgebiet.

Ein neuer Mechanismus, wie HF-EMF unterhalb der Grenzwerte schädlich auf den menschlichen Körper einwirken könnte, wurde während des Bestehens der FGF also nicht gefunden, und alle bekannten thermischen und nicht-thermischen Mechanismen zeigen keine Schädigung unterhalb der Grenzwerte. Hypothesen dazu – bei denen noch lange nicht klar ist, ob sie eine schädliche Wirkung erzielen können (dann wären es ja keine Hypothesen mehr) – gibt es allerdings weiterhin. Aber die FGF wird ja nicht aufgelöst, weil es keine offenen Fragen mehr zu klären gibt.

Informationsmaterial zur Mechanismusforschung findet man auf den FGF-Seiten vor allem unter: http://www.fgf.de/wissen/biologie_medizin/wirkungsmechanismen.html und: <http://www.fgf.de/forschungsprojekte/workshops.html>. Sie sollen nach bisheriger Planung auch noch einige Jahre nach der FGF-Schließung erreichbar bleiben.



Diplom-Biophysiker Lutz Haberland ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der FGF für biologische und physikalische Fachfragen und unter anderem für die Organisation von Workshops zuständig.