

Gibt es eine Spezifik biologischer Wirkung gepulster Felder?

Roland Glaser

Der Zürich-Workshop des Programms COST 281 war überschrieben mit: „Do sinusoidal versus non-sinusoidal waveforms make a difference?“. Es sollte hinterfragt werden, ob tatsächlich ein Unterschied erkennbar ist zwischen der biologischen Wirkung gepulster und un gepulster Felder, wie sich so etwas biophysikalisch erklären ließe, und ob dies eventuell Konsequenzen für die Festlegung neuer Grenzwerte haben könnte. Schon die thematische Überschrift des Workshops umriss diese Fragestellung allerdings nur sehr ungenau, bezieht sich das eigentliche Problem doch nicht so sehr auf den Unterschied Sinus-Wellen versus Schwingungen anderer Form, sondern vielmehr auf mögliche Spezifika der Wirkung kurzer Wellenpakete, wie sie für die GSM-Technik und andere Verfahren des Mobilfunks und natürlich besonders für das Radar typisch sind.

Erfahrungen der Biotechnologen sollten herangezogen werden, die seit langem und mit Erfolg starke Feldpulse zur Zellmanipulation einsetzen. Auch wenn es sich hier um Rechteckpulse, nicht um gepulste Wellenpakete handelt, auch wenn die in der Biotechnologie verwendeten Feldstärken um viele Zehnerpotenzen höher sind als die Felder unserer technisierten Umgebung, so könnten sich doch Parallelen in den Wirkungsmechanismen herausstellen, die man aus diesen theoretisch gut fundierten Methoden übernehmen könnte. Da Ulrich Zimmermann aus Würzburg aus gesundheitlichen Gründen leider kurzfristig absagen musste, vertrat sein Mitarbeiter, Vladimir Sukhorukov diese Richtung. Parallel dazu berichtete Andrei Pakhomov aus San Antonio (Texas) über die Wirkung extrem starker Mikrowellen-Pulse. Die beiden außerordentlich kompetenten und interessanten

Vorträge fanden leider in der Diskussion wenig Resonanz. Wesentlich intensiver wurde der Übersichtsvortrag von Frau Vijayalaxmi (San Antonio, Texas) diskutiert, der eine sehr zuverlässige und kritische Zusammenstellung aller Experimente der Jahre 1990-2003 zu möglichen genotoxischen Wirkungen hochfrequenter Felder darstellte. Die Spekulationen von Igor Belyaev (Stockholm, Moskau) und hier speziell seine Behauptung, Effekte wären nur als hocheffektive Resonanzen in engsten Frequenzfenstern zu finden, führte eher vom Thema weg.

Wo liegt das eigentliche Problem? Immer wieder erscheinen Publikationen, welche mehr oder weniger überzeugend von biologischen Effekten hochfrequenter Felder berichten, die angeblich nur dann auftreten, wenn diese gepulst oder spezifisch amplitudenmoduliert sind. Wir berichteten im vorausgegangenen Heft über den Beitrag von K. R. Foster und M. H. Repacholi mit dem Resümee, dass eine Demodulation hochfrequenter Felder, gleich, ob vom AM- oder FM-Typ, in biologischen Systemen zumindest insofern unwahrscheinlich ist, als dass die darin enthaltenen niederfrequenten Komponenten elektromagnetisch signifikant in Erscheinung treten könnten. Zu Aussagen über eine mögliche spezifische Wirkung von gepulsten Feldern durch andere Mechanismen hielt man sich in dieser Publikation zurück. Ken Foster (Philadelphia) wiederholte in seinem Vortrag diese Gesichtspunkte und betonte die Erfordernis, zwischen „power frequency“ und „signal frequency“ zu unterscheiden. Unter dem erstgenannten Begriff versteht er die Hüllkurve eines amplitudenmodulierten oder gepulsten Signals, welche letzten Endes die Kinetik einer möglichen Erwärmung des Systems bestimmt. An dieser Stelle hätte man sich in Zürich eine tiefergreifende Diskussion gewünscht, speziell mit den anwesenden Vertretern der electric-break-down-Forschung. Ein Rechteckimpuls, ebenso wie ein Wellenpaket, führt in dem exponierten Objekt zu einem ther-

mischen Impuls. Dies ist zunächst qualitativ das verbindende Element zwischen der Wirkung eines GSM-Signals und den break-down-Effekten der Biotechnologen. Die vielleicht ähnliche Hüllkurve eines Wellenpaketes, eines „bursts“, wie es im englischen Sprachgebrauch heißt, ist jedoch nur sehr bedingt mit der Wirkung eines einfachen Rechteckimpulses zu vergleichen. Dagegen sprechen die Impedanz-Eigenschaften der Zellmembran. Darauf einzugehen wäre einer genauen Diskussion wert gewesen. Der Begriff der „Flankensteilheit“ eines Impulses wurde in Vorträgen und Diskussionen in Zürich mehrfach verwendet, wobei man leider die Unterschiede zwischen Wellenpaket und Rechteckpuls verwischte.

Entscheidend sind der zeitliche und räumliche Verlauf einer möglichen Erwärmung und deren mögliche Konsequenzen. Hierzu gibt es inzwischen sowohl in der Biotechnologie als auch in der Molekularbiologie neue Erkenntnisse. Interessant ist zum Beispiel der Befund, wonach man mit Hilfe einer mit einem Biomolekül verknüpften Goldkugel in Nanometer-Dimension durch Einstrahlung eines HF-Feldes eine ganz spezifische thermische Wirkung erzielen kann (Hamad-Schifferli et al. Nature 2002, **415**, 152. Siehe auch „Neues aus der Wissenschaft“, FGF-Newsletter, 1/2003). Die Molekularbiologie hat inzwischen eine Reihe von Proteinen in verschiedenen Zellen nachgewiesen, die in engen Temperaturbereichen mit hoher Empfindlichkeit auf Erwärmung oder Abkühlung reagieren. Berücksichtigt man alle diese Erkenntnisse, so gewinnt das von Ken Foster vertretene klassische Thema der „Mikrodosimetrie“ neue Aktualität. Es erscheint sinnvoll, dass sich die zum Teil im Kreise drehende Diskussion über „nicht-thermische“ Wirkungen solchen Erkenntnissen öffnet.

Dieser Problembereich sei am Beispiel einer kürzlich erschienenen Publikation illustriert: Unter sorgfältiger Betreuung durch Hochfrequenztechniker der ETH Zürich wurden im Institut für Pflanzengenetik Gatersleben Experimente mit embryonalen Stammzellen durchgeführt, die, in hängenden Tropfen kultiviert, 6 bis 48 Stunden kontinuierlichen HF-Feldern oder GSM-Signalen ausgesetzt waren (Czyz J, et al., Bioelectromagnetics 2004; **25** 296-307, siehe auch: „Neues

aus der Wissenschaft“ in „FGF-Newsletter“, Heft 4, 2004). Nicht durch ungepulste Felder, sondern nur bei der Befeldung mit dem GSM-Signal konnte eine signifikante Erhöhung des mRNA-Gehalts in den p53-Mangel-Zellen nachgewiesen werden. Die Autoren schließen thermische Effekte aus, läge doch die verwendete Intensität der Befeldung unterhalb des ICNIRP-Grenzwertes, und würden die Versuchsbedingungen doch eine präzise Temperaturkontrolle garantieren. Dies mag zutreffen, berücksichtigt man den mittleren SAR-Wert, der mit 1,5 W/kg angegeben wird. Wie ist es aber mit der tatsächlichen Intensität während des Pulses? Bei einem 8:1 Verhältnis von Pause zu Pulslänge wären dies 12 W/kg, während einer halben Millisekunde, 217 mal pro Sekunde. Gibt es möglicherweise durch diese Einstrahlung periodische Aktivierungen von Thermorezeptoren in den Zellen, die bei 1,5 W/kg eines kontinuierlichen Feldes nicht auftreten? Wie schnell tauschen die Tröpfchen die Wärme mit der Umgebung aus, berücksichtigt man Wärmeleitfähigkeit und Verdunstungswärme? Ist die Temperatur-Schwankung des ganzen Tropfens oder nur der entsprechenden Thermorezeptor-Proteine entscheidend? Hier müssten offenbar in die ingenieurtechnische Dosisberechnung noch eine Reihe physikochemischer Prozesse einbezogen werden.

An diesem willkürlich herausgegriffenen Beispiel ist erkennbar, dass man durchaus Grund hat, über eine eventuelle Spezifik in den Wirkungen gepulster Felder zu diskutieren. Dies um so mehr, je kürzer und intensiver diese Pulse sind. Dabei sollten die Techniker vorgeben, welche Überraschungen bezüglich Puls-Länge, Puls-Folge und Puls-Intensität sie noch parat haben. Wichtig ist jedoch, so hat der Züricher Workshop gezeigt, dass nicht nur Referenten, sondern auch ein Publikum geladen wird, welches an solchen multidisziplinären Diskussionen Interesse hat und die notwendige Sachkunde besitzt. Wenn auch der Züricher Workshop nicht alle Fragen beantworten konnte, so war es vielleicht doch der Anfang einer Diskussion, die in Folge neue Erkenntnisse zeitigen könnte.

Prof. Dr. Roland Glaser war Leiter des Instituts für Biophysik an der Humboldt-Universität Berlin.