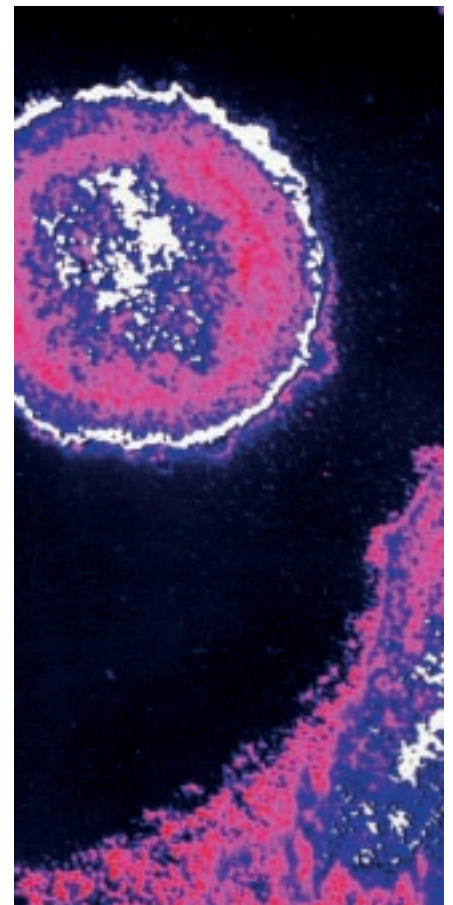


Christoph Bächtle

„ Biological EMF-Interaction Mechanisms and their Relevance to Exposure Limits“

T A G U N G C O S T 2 4 4 B I S

Im Vorfeld der Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society fand am 10. Juni 2000 in München unter dem Titel „Biological EMF-Interaction Mechanisms“ der 10. COST244bis Workshop statt. Ein besseres Verständnis um biophysikalische Wirkungsmechanismen von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, sowie die detaillierte Diskussion möglicher Mechanismen waren die Zielsetzungen dieses Workshops. Potentielle Mechanismen laufen unter Umständen auf molekularer Ebene ab, die daraus resultierenden Effekte könnten Auswirkungen auf Zellen, Gewebe oder den gesamten Organismus haben. Diese Struktur wurde auf die Zusammenstellung der Beiträge und die Gliederung der Themen übertragen, so dass sich folgendes Programm ergab:



- I. Introduction and Definitions (Einführung und Definitionen)
- II. Primary Biophysical and Biochemical Effects (Primäre biophysikalische und biochemische Effekte)
- III. Interaction on Subcellular and Metabolic Level (Wechselwirkung auf subzellulärer und metabolischer Ebene)
- IV. Interaction on Cellular and Tissue Level (Wechselwirkung auf zellulärer und Zellverbandsebene)
- V. Interaction on Organs and whole Organisms (Wechselwirkung auf Organe und den gesamten Organismus)

Schon im ersten Themenblock „Introduction and Definitions“ wurde deutlich, dass eine schlüssige Definition des Begriffs „Mechanismus“ hinsichtlich biologischer Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder derzeit offenbar nicht möglich ist. Dr. Ulf Berquist verwies auf die verschiedenen Fragestellungen unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen und stellte fest, dass nicht zuletzt die Unterschiede der einzelnen Forschungsansätze eine allgemeingültige Begriffsklärung erschweren.

Mechanismen müssten daher unter Umständen als „Black-Box“ aufgefasst werden, die zwischen einzelnen Beobachtungen, Theorien und Erkenntnissen stehe. Andererseits könne das Wissen darüber wertvolle Beiträge bei der Planung neuer Studien sowie der Interpretation von Ergebnissen liefern und somit die Glaubwürdigkeit von Ergebnissen erhöhen. Des Weiteren könnte es die Einschätzung neuer Technologien in Hinsicht auf deren mögliche biologische Wirkungen erleichtern. Mechanismen können als eine Sequenz von Ereignissen aufgefasst werden. Ausgelöst wird diese Sequenz durch physikalische Größen, z.B. ein elektromagnetisches Feld. Physikalische Größen werden in biologischen Systemen nicht akkumuliert. Die von ihnen bewirkten Veränderungen dagegen schon. Kenntnisse über Mechanismen seien daher notwendig, um daraus folgende Veränderungen abschätzen zu können.

In seinem Einführungsreferat unterstrich Dr. Bergquist deshalb die Wichtigkeit des Verständnisses sowohl physikalischer als auch biologischer Mechanismen der Interaktion für eine angemessene, effiziente Festlegung von Expositionsbegrenzungen, insbesondere hinsichtlich der Auswahl adäquater Expositionsparameter und der Modelle zur Extrapolation unter Berücksichtigung von Expositionssituationen mit mehreren Quellen sowie der Expositionsdauer speziell bei chronischer Exposition. Außerdem thematisierte er das Problem der

Reziprozität von Zeitdauer und Amplitude in Expositionsabschätzungen.

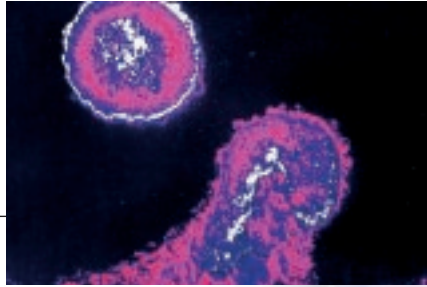
Prof. Dr. Jürgen Bernhardt stellte in seinem Vortrag die Vorgehensweise der „International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection“ (ICNIRP) vor und informierte über zukünftige Ziele und Vorhaben der ICNIRP. Dr. Bernhardt erläuterte den Ansatz der ICNIRP zum Schutz vor EMF und zur künftigen Weiterentwicklung geltender Richtlinien. Unsere Gesellschaft brauche verschiedene Gremien zur Lösung der unterschiedlichen Aufgaben: Organisationen wie die ICNIRP, die Richtlinien auf der Basis biologischer, gesundheitlich relevanter Effekte formulieren; Regierungsbehörden, deren Verantwortlichkeit in der Abschätzung sozialer und ökonomischer Konsequenzen von Grenzwerten liegt, sowie wissenschaftlich-technische Gremien zur Entwicklung produktbezogener Standards. Die Vorgaben der ICNIRP, d.h. die Grenzwerte für die Gesamtbevölkerung und für berufsbedingte Exposition sowie allgemeine Begrenzungen und Empfehlungen beziehen Faktoren wie Wissensunsicherheiten, verschiedene Sensibilitätsgrade und Langzeitexposition ein.

Prof. Dr. Guglielmo d'Inzeo referierte über theoretische Modelle von Interaktionen zwischen elektromagnetischen Feldern und biologischen Systemen. Die Polarisierbarkeit von Ligandenbindungen und funktionelle Veränderungen, zum Beispiel in Ionen-transportsystemen, waren seine Beispiele für Wechselwirkungen zwischen biologischen Systemen und elektromagnetischen Feldern. Der erste Wirkungsort von derartigen Wechselwirkungen könnte laut d'Inzeo die Zellmembran sein. Als Methode für die Erforschung von Effekten schlug er eine stufenweise Untersuchung der Verhältnisse vor. Ausgehend von der quantenmechanischen Ebene sollten über die Stufe biochemischer Abläufe biophysikalische Vorgänge an der Zellmembran untersucht werden. Erst anschließend sollten Fragen über zellbiologische Veränderun-

gen angegangen werden. Mit dem „Integrated Membrane Model“ stellte d'Inzeo ein Verfahren zur Erfassung möglicher Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Feldern und biologischen Komponenten vor.

Dr. Kenneth Foster stellte in seinem Vortrag „Mechanisms of Interactions of RF-Fields with Biological Systems“ einige Effekte vor, bei denen die Mechanismen bekannt seien: Membrandepolarisation, Ladungsverschiebungen, elektrisch induzierte und thermische Vorgänge. Jedoch sei das Ausmaß dieser Interaktionen klein aufgrund eines meist hohen Energieumsatzes. Für andere beobachtete Vorgänge, wie die Erwärmung von Geweben oder die Elektroporation könne über die zugrunde liegenden Mechanismen nur spekuliert werden. Beim Beispiel „Erwärmung von Geweben“ bezog sich Foster auf eine Studie der U.S. Air Force, die bei Befeldung mit einem 2,45 GHz-Signal eine Hauterwärmung um bis zu 3 Grad K dokumentierte. Foster befürwortete stärkere Forschungsaktivitäten zur Aufklärung von Mechanismen.

Über die Auswahl von Parametern zur Festlegung von standardisierten Grenzwerten berichtete im Anschluss Dr. Patrick Reilly. Dr. Reilly referierte über die Auswahl von Analyseparametern zur Festlegung standardisierter Grenzwerte, die keinerlei ungünstige (unangenehme, schmerzhaft) Wirkung ausschließen sollten. Er votierte für die elektrische Feldstärke in situ als Masseinheit und sprach sich im Gegensatz zur ICNIRP für Festlegung von Grenzwerten für kontrollierte und unkontrollierte Umgebungen aus. Da alle Veränderungen auf synaptischer Ebene als gesundheitsschädlich betrachtet werden, sollten EMF-Grenzwerte von einem Wert von 1% wahrscheinlicher Verbreitung der Wahrnehmungsschwelle der Bevölkerung abgeleitet und anschließend um einen Akzeptanzfaktor von 3 reduziert werden.



Der Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf die Calciumhomöostase war Gegenstand des Vortrags von Dr. Rainer Meyer, Universität Bonn. Meiers Untersuchungen an Herzmuskelzellen bestätigen die Erkenntnisse, die Wolke et al. 1996 erarbeiteten. Demnach haben GSM-Signale auf das Calciumgleichgewicht dieser Zellen keinen Einfluss.

In einem Kurzreferat fasste Dr. René De Seze zusammen, dass in seinen Hormonstudien keine Effekte nachgewiesen werden konnten.

Dr. James C. Weaver vertrat in seinem Vortrag die Auffassung, dass nach einer Exposition Veränderungen auf molekularer Ebene auftreten. Jedoch müsse feststellbar sein, dass eine Exposition überhaupt stattgefunden habe. Molekulare Veränderungen können nicht grundsätzlich einer vorangegangenen Exposition zugeschrieben werden. Des Weiteren stellt sich die Frage, welche Veränderungen bestehen bleiben, und welche vorübergehender Natur sind. Nach Weavers Meinung sind physikalische Effekte nicht dauerhaft, während chemische Veränderungen bestehen bleiben können.

Mit der Melatonin-Hypothese setzte sich Dr. Alexander Lerchl in seinem Vortrag auseinander. Melatonin wird unter anderem eine antioxidante Wirkung nachgesagt, womit ein Brückenschlag zu Krebs-erkrankungen möglich ist. Niedrige Melatoninspiegel könnten mit einem erhöhtem Auftreten von Tumorerkrankungen in Zusammenhang stehen. Die Melatoninproduktion ist an circadiane Rhythmen gebunden, jedoch können auch schwache Magnetfelder Veränderungen in der Melatoninproduktion bewirken, da sie Einfluss auf das Pinealorgan, den Produktionsort von Melatonin, nehmen. In seinen Experimenten an Djungarischen Hamstern konnte Lerchl keine Auswirkung von 900 MHz und 1800 MHz-Signalen auf die Melatoninproduktion nicht feststellen.

Dr. Jan Gimsa informierte über Mecha-

nismen der Energieabsorption auf zellulärer Ebene und beschrieb einige elektrokinetische Phänomene wie Dielektrophorese, Elektrorotation oder Deformation kleiner Partikel im elektromagnetischen Feld.

Der Vortrag von Dr. Jiri Pokorny befasste sich mit Kurzzeiteffekten elektromagnetischer Felder auf lebende Zellen. Nach seiner Auffassung stehen physikalische Vorgänge am Beginn der Interaktion zwischen Feld und Zelle. Ausgehend von Fragestellungen wie

- Bilden Zellen elektromagnetische Felder?
- Welche zelluläre Struktur ist dafür verantwortlich?
- Wie können diese Felder gemessen werden?
- Können externe Felder das zelluläre Feld beeinflussen?

untersuchte Pokorny die Rolle von Mikrotubuli in Bezug auf das zelleigene Feld am Beispiel der Hefe *Saccharomyces cerevisiae*. Nach seinen Messungen sind Hefezellen von einem elektromagnetischen Feld umgeben. Die Entwicklung von Mikrotubuli (an der Stabilisierung der Zelle und intrazellulären Transportprozessen beteiligte Proteinstrukturen) wird durch dieses Feld beeinflusst.

Den Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und dem Verhalten eines Individuums stellte Prof. Dr. Alan Preece vor. Folgende Bereiche aus dem Kontext der Verhaltensforschung wurden hinsichtlich einer Beeinflussung durch elektromagnetische Felder untersucht:

- Gedächtnis
- Schlaf
- Lernverhalten
- Meidereaktionen
- Fahrverhalten.

Als gesicherter Effekt elektromagnetischer Felder auf ethologische Vorgänge im Menschen gilt laut Preece die Erhöhung der Reaktionszeit von Autofahrern nach Befeldung. In Tieren wurde die Fähigkeit zur Erkennung von Objekten durch Befel-

dung verändert. Andere Parameter, wie das räumliche Gedächtnis, blieben hingegen unbeeinflusst.

Der Workshop „Biological Interaction Mechanisms“ von COST244 bis zeigte an Beispielen, dass elektromagnetische Felder auf verschiedensten Ebenen, von Molekülen bis zum komplexen Organismus, Effekte in biologischen Systemen bewirken könnten. Über Mechanismen, die diesen Effekten zugrunde liegen, kann im Moment nur spekuliert werden. Eine Darstellung einzelner Mechanismen ist nicht erfolgt, vielleicht auch nicht möglich. Aus Gesprächen mit Teilnehmern ging hervor, dass geteilte Meinungen vorherrschen, ob die Erforschung und Aufklärung von Mechanismen sinnvoll ist oder nicht. Auch bei der Differenzierung der Begriffe „Effekt“ und „Mechanismus“ gibt es verschiedene Sichtweisen. Einerseits wird zwischen „Effekt“ und „Mechanismus“ unterschieden, andererseits werden diese Begriffe gleichgesetzt. Im dritten Fall stellt sich die Frage nach einer Unterscheidung für die Betreffenden offenbar nicht, da nach dem „Henne-Ei-Prinzip“ verfahren wird. Hat eine Befeldung einen bestimmten Effekt, der wiederum auf bestimmte Mechanismen wirkt? Oder werden durch Befeldung bestimmte Mechanismen beeinflusst, wodurch Effekte ausgelöst werden? Bis zu welcher Ebene können oder müssen Mechanismen verfolgt werden? Bis zur molekularen, bis zur atomaren oder gar bis zur quantenmechanischen? Diese Fragen lassen sich auf die Spitze treiben, ob dadurch ein entscheidender Beitrag zur Problemlösung geleistet wird, bleibt strittig. Unstrittig ist hingegen, dass Effekte und Mechanismen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder derzeit nicht nur ein wissenschaftliches, sondern auch ein sprachliches Problem darstellen.

*Diplom-Biologe Christoph Bächtle,
Universität Stuttgart*