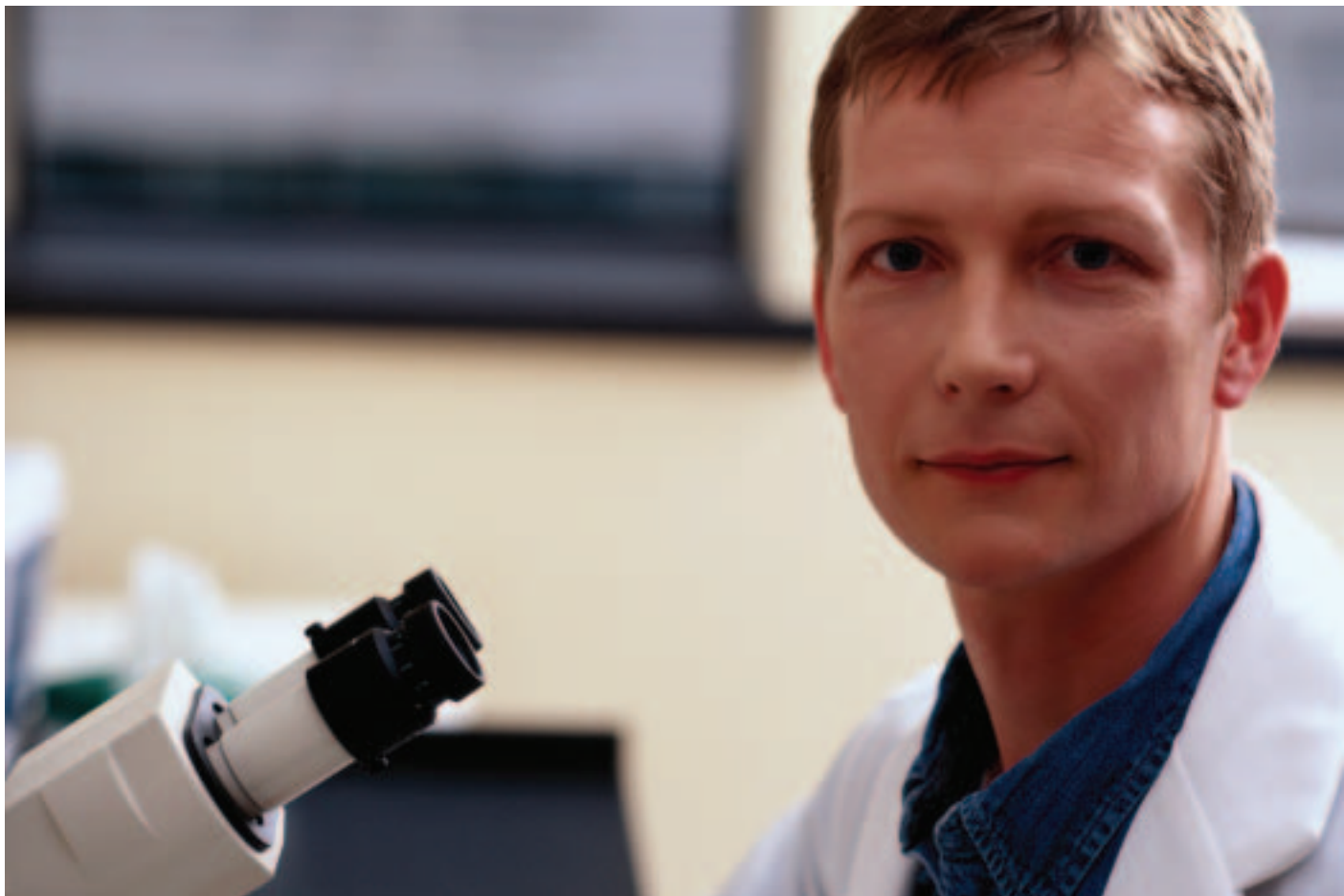


# Erkenntnisse der experimentellen

Alexander Lerchl

Die Frage, ob hochfrequente elektromagnetische Felder gesundheitlich unbedenklich sind, wird nach wie vor kontrovers diskutiert. Seit Einführung der mobilen Kommunikation durch Privatpersonen hat sich diese Diskussion erheblich ausgeweitet. Weite Teile der Bevölkerung glauben, dass eine Gefährdung existiert und sind den Mobilfunkbetreibern und Herstellern von Endgeräten gegenüber kritisch eingestellt. Die einzige Möglichkeit, den Ängsten der Bevölkerung Rechnung zu tragen, sind wissenschaftlich sauber durchgeführte Untersuchungen, die auf allen relevanten Ebenen die möglichen Gefahren untersuchen. Neben biophysikalischen Untersuchungen an Membranen sind insbesondere Untersuchungen an Zellen, Tieren und Menschen notwendig, um sowohl mögliche Mechanismen als auch Folgen für den Gesamtorganismus abzuschätzen.





# EMVU-Forschung

Grundsätzlich sind hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) im Frequenzbereich der mobilen Kommunikation nicht in der Lage, ionisierend zu wirken und somit direkte Veränderungen an Molekülen oder Atomen zu bewirken. Sie unterscheiden sich daher elementar von ionisierenden Strahlen, die bereits bei kleinster Strahlungsmenge Schäden hervorrufen. Die einzige bislang durchgehend anerkannte Wirkung von HF-EMF ist thermischer Natur, das heißt, dass Gewebe durch die Absorption dieser Felder mehr oder weniger erwärmt werden. Diese Tatsache bildet einerseits die Basis der Definition der Grenzwerte, andererseits den Kern der Diskussionen um **nicht-thermische Wirkungen** von HF-EMF, die immer wieder postuliert und durch einzelne Studien scheinbar belegt werden.

Um die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF zu untersuchen, müssen biologische Experimente mit Zellen und intakten Organismen durchgeführt werden, um sowohl mögliche Wirkmechanismen als auch Auswirkungen zu untersuchen, die an einzelnen Zellen nicht zu erfassen sind, zum Beispiel die Initiierung oder Promotion von Krebserkrankungen. Untersuchungen an Zellen sind auf Prozesse ausgerichtet, die zum Beispiel die Expression von bestimmten Genen oder physiologische Antworten umfassen, die lichtmikroskopisch untersucht werden können. In jedem Fall sollten mögliche HF-EMF Effekte sowohl an Zellen als auch an intakten Organismen durchgeführt werden, um mögliche Effekte vergleichen zu können. Ohne diese grundlegenden Forschungen fehlt epidemiologischen Untersuchungen der Unterbau, um die Ergebnisse, falls eine schädigende Wirkung aufgezeigt wird, in einen Gesamtkontext zu stellen. Experimente zu biologischen Auswirkungen von HF-EMF sind notwendig interdisziplinärer Natur. Während frühere Studien zu diesem Thema mit einfachsten technischen Mitteln durchgeführt wurden, haben sich

die Expositionsqualität und die Dosimetrie in den vergangenen Jahren erheblich verbessert. Der hohe technische Standard heutiger Untersuchungen stellt zum Beispiel sicher, dass unbeabsichtigte „hot spots“ vermieden werden, die eine punktuell sehr hohe Exposition bedeuten, die das Gesamtergebnis verfälscht. Die vielleicht bekannteste Studie, die eine höhere Leukämierate bei Mäusen zeigte, ist die von Repacholi und Mitarbeitern [1], in der die Tiere einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld bei 900 MHz ausgesetzt wurden. Durch die Anordnung der Antennen und der Käfige wurden extrem hohe Variationen der spezifischen Absorptionsraten (SAR) verursacht, die zwischen den Tieren um einen Faktor von bis zu 500 schwankten. Eine Wiederholungsstudie von Utteridge und Mitarbeitern, diesmal mit wesentlich verbesserten Expositionsbedingungen und weit geringerer Variation der SAR-Werte, konnte die ursprünglichen Ergebnisse nicht bestätigen [2]. Auch andere Studien konnten keine Hinweise finden, dass HF-EMF Leukämie-Erkrankungen bei Mäusen beschleunigt [3;4].

Ein weiteres Kriterium für die Anerkennung eines nicht-thermischen Effektes von HF-EMF auf biologische Systeme ist die Wiederholbarkeit von Ergebnissen. Aufgrund statistischer Gesetzmäßigkeiten und biologischer Varianzen sind zufällige positive Ergebnisse zu erwarten, die für sich genommen noch keine Konsequenzen erfordern. Erst dann, wenn Einzelergebnisse unabhängig reproduzierbar sind, wären Maßnahmen (zum Beispiel Senkungen der bestehenden Grenzwerte) gerechtfertigt.

Ebenfalls sollte es heute Standard sein, Experimente verblindet und mit adäquaten Kontrollen (Scheinexposition, eventuell Käfigkontrollen) durchzuführen. Diese Anforderungen sind technisch nicht trivial, da die Expositionsanlagen (für die Exposition und die Scheinexposition) optisch und in jeder anderen Hinsicht, bis auf das Vorhandensein des elektromagneti-

schen Feldes, identisch und von den Benutzern nicht unterscheidbar sein müssen. Erst unter diesen Voraussetzungen, und wenn die Benutzer nicht wissen, welche Tiere beziehungsweise Zellen exponiert sind, werden unbewusste oder bewusste Einflussnahmen ausgeschlossen. Leider hat sich dieser Standard noch nicht durchgesetzt. Es werden immer wieder Studien eingereicht und publiziert, bei denen sich die Bedingungen unter Exposition und Scheinexposition erheblich unterscheiden und somit andere als HF-EMF Effekte nicht ausgeschlossen werden können. Beispielsweise ist es technisch und methodisch nicht akzeptabel, Ratten mittels eines umgebauten Mikrowellenofens zu bestrahlen und die Kontrolltiere nicht zu bestrahlen, wie dies noch 2006 von Trosic und Mitarbeitern publiziert wurde [5]. Die Expositionsbedingungen sind nicht nur alles andere als optimal, auch können weitere Einflussgrößen, insbesondere Geräusche, erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Dass die Versuche nicht verblindet durchgeführt wurden, ist evident.

Aber auch negative Ergebnisse, also fehlende Hinweise auf biologische Effekte von HF-EMF, müssen bisweilen kritisch betrachtet werden. So konnten Anane und Mitarbeiter keine zusätzlichen schädigenden Effekte bei Ratten nachweisen, bei denen durch Applikation eines Karzinogens Brustkrebs induziert wurde [6]. Die Gruppengrößen von 16 Tieren waren jedoch zu gering, um Effekte nachzuweisen. Die statistische Power der zu untersuchenden Parameter muss bei derartigen Untersuchungen vor Beginn der Experimente berechnet werden, um eine Belastbarkeit auch negativer Ergebnisse sicherzustellen. Ansonsten sind derartige Studien wertlos.

Die Erforschung möglicher biologischer Effekte von HF-EMF setzt das Vorhandensein von Hypothesen voraus, ohne die Experimente einem Stochern im Nebel gleichkommen. Alle möglichen Parameter zu untersuchen, um irgendwelche Effekte aufzuspüren, ist nicht nur wissenschaftlich fragwürdig, sondern verursacht ein großes statistisches Problem, nämlich das der Signifikanzhäufung. Werden beispielsweise 10 Parameter untersucht, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich einer oder auch mehrere dieser Faktoren zwischen exponierten und scheinexponierten Objekten „signifikant“ unterscheidet, sehr groß. Man kann zwar durch entsprechende Verschärfungen der statistischen Tests solche Signifikanzhäufungen kompensieren, nimmt aber dann den Nachteil in Kauf, mögliche tat-

sächliche Unterschiede nicht zu entdecken. In jedem Fall ist es notwendig, vor Durchführung eines Experiments die zu untersuchenden Parameter hypothesenbasiert zu definieren.

Die bislang durchgeführten Untersuchungen zu möglichen biologischen Effekten nicht-thermischer HF-EMF, die die genannten Qualitätskriterien erfüllen, haben in der weit überwiegenden Mehrzahl keine Schädigungen aufzeigen können. Dies gilt für Experimente an Zellen und Tieren, die teilweise über sehr lange Zeiträume durchgeführt wurden. Die wenigen Untersuchungen, die zunächst Effekte gezeigt haben, konnten entweder in Wiederholungsstudien nicht bestätigt werden, oder diese stehen noch aus. Obwohl es, nicht zuletzt dank erheblich verbesserter Qualitätsstandards, so aussieht, dass nicht-thermische HF-EMF keine schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen haben, kann die Forschung zu diesem Thema nicht als abgeschlossen betrachtet werden, da ständig neue Technologien (Frequenzbänder, Modulationsarten) genutzt werden, deren mögliche biologische Auswirkungen getestet werden sollten, bevor die flächendeckende Einführung erfolgt.

## Literatur

- 1. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V et al. Lymphomas in  $\mu$ -Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 Mhz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* 1997; **147**:631-640.
- 2. Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW et al. Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 2002; **158**:357-364.
- 3. Sommer AM, Streckert J, Bitz AK et al. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BMC Cancer* 2004; **4**:77.
- 4. Sommer AM, Bitz AK, Streckert J et al. Lymphoma development in mice chronically exposed to UMTS-radiofrequency electromagnetic fields. *Radiat Res* 2007; **168**:72-80.
- 5. Trosic I, Busljeta I. Erythropoietic dynamic equilibrium in rats maintained after microwave irradiation. *Exp Toxicol Pathol* 2006; **57**:247-251.
- 6. Anane R, Dulou PE, Taxile M et al. Effects of GSM-900 microwaves on DMBA-induced mammary gland tumors in female Sprague-Dawley rats. *Radiat Res* 2003; **160**:492-497.



Prof. Dr. Alexander Lerchl ist Inhaber eines Lehrstuhls für Biologie an der School of Engineering and Science, Jacobs University, Bremen. Ein Arbeitsschwerpunkt ist die Erforschung biologischer Effekte von Magnetfeldern und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Er ist Mitglied des Ausschusses „Nichtionisierende Strahlung“ der Strahlenschutzkommission.