

15 Jahre Forschung über biomedizinische Wirkungen hochfrequenter Felder des Mobilfunks



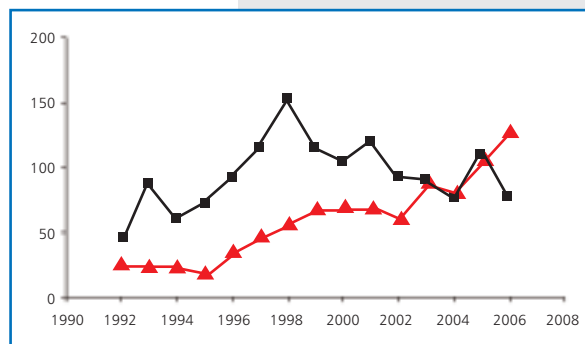
Eine Erfolgsstory oder eine endlose Geschichte?

Aus Newsletter 3/07 mit ergänzenden Informationen zu den Literaturangaben

Ein Rückblick auf die vergangenen 15 Jahre Forschung zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen hochfrequenter Felder ist sicher lohnend, um Schlussfolgerungen daraus zu ziehen und eventuell neue Aufgaben abzuleiten. Allerdings wurden viele der in den letzten 15 Jahre bearbeiteten Themen und Hypothesen zu diesem Thema bereits in der Zeit davor formuliert, so dass ein Rückgriff auf frühere Publikationen unvermeidbar ist. Die meisten Problemkreise sind aus wissenschaftlicher Sicht inzwischen abgearbeitet und in erforderlichem Maße aufgeklärt. Dennoch wird immer wieder auf Lücken und Unklarheiten hingewiesen – Ursache für Diskussionen und Verunsicherung in Teilen der Bevölkerung. Wenn auch die Forschung über biomedizinische Wirkungen hochfrequenter Felder nicht erst im Zeitalter des Handys begonnen hat³⁴, so ist doch die jährliche Anzahl von Publikationen in internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften deutlich im Steigen begriffen (Abb. 1). Im Unterschied dazu sinkt zur Zeit die Zahl von Publikationen zu Einwirkungen niederfrequenter Felder des Wechselstromes auf biologische Systeme nach einem Maximum im Jahre 1998.

Roland Glaser

Abb. 1: Trendlinien zur jährlichen Verteilung von 960 Publikationen zur biologischen Wirksamkeit elektromagnetischer Felder im Frequenzgebiet zwischen 0,3 und 3 GHz (UHF) (rot) und von 1446 Untersuchungen zum Frequenzbereich des Wechselstromes (50 bzw. 60 Hz) (schwarz) in den letzten 15 Jahren.



Ursache für diesen Trend ist natürlich in erster Linie die steigende Aktualität der Hochfrequenzproblematik als Folge der enormen Ausbreitung des Mobilfunks und anderer Formen hochfrequenter Datenübertragung. Daraus resultierte auch eine entsprechende Neuorientierung der Forschungsmittel.

Nicht die quantitative Analyse dieser Situation ist allerdings Gegenstand dieses Beitrages, vielmehr seien die inhaltliche Orientierung und die erzielten Ergebnisse der letzten 15 Jahre etwas näher betrachtet. Dies kann hier allerdings nur exemplarisch erfolgen, bezogen auf die Haupttrends der Entwicklung.

Ein Spezifikum dieser Forschungsrichtung sind ihre extrem hohen Anforderungen an interdisziplinäre Kompetenz. Ausgehend von einer aufwändigen Technik der Feldapplikation und Dosimetrie, über Kenntnisse und Erfahrungen von Tierhaltung und Zellbiologie, molekularbiologische Aspekte bis hin zur medizinischen Wertung biologischer Veränderungen sind Spezialkenntnisse erforderlich, die dringend interdisziplinäre Kooperation erfordern. Forschungsarbeiten früherer Jahre krankten oft daran, dass biologisch orientierte Arbeitsgruppen primitive Messmethodik/-apparaturen verwendeten, Kollektive mit technischem Hintergrund hingegen von naiven biologischen Vorstellungen ausgingen. Obgleich auch heute noch hin und wieder derartige Schmalspur-Experimente publiziert werden, deren fehlerhafte Ergebnisse mitunter leider beträchtlich Furore machen, ist in den letzten Jahrzehnten ein deutlicher Trend hin zu hoher Qualität bei multidisziplinärer Forschung zu erkennen, der zunehmend auch auf länderübergreifender Kooperation basiert.

Die Entwicklung von Applikationseinrichtungen und Dosimetrie

Während es bezüglich biomedizinischer Analysenmethoden keinen Unterschied gibt zwischen den Untersuchungen im nieder- zu denen im hochfrequenten Bereich der Felder, sind technisch gesehen die Anforderungen im HF-Bereich wesentlich höher. Biologische Experimente im GHz-Bereich erfordern einen erheblichen technischen und damit auch finanziellen Aufwand, angefangen von den erforderlichen Generatoren, über Verstärker bis hin zu definierten Sendeanlagen in reflexfreier Umgebung. Es reicht nicht aus, ein eingeschaltetes Mobiltelefon in die Nähe einer Petrischale zu legen, wie es leider selbst in aktuellen Publikationen mitunter noch geschieht (zum Beispiel: 25, 79, 80, 99). Experimentelle Daten können heute nur dann in der Forschung ernst genommen zu werden, wenn technisch korrekte Applikationsbedingungen und entsprechende Dosimetrie zum Einsatz kommen.

Es gibt im Berichtszeitraum mehrere Fälle, bei denen ursprünglich gefundene biologische Effekte bei Wiederholung nach Korrektur der Applikationsbedingungen nicht mehr nachweisbar waren. Als Beispiel dafür seien die Untersuchungen an dem Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* genannt. Die zunächst als „nicht-thermisch“ bezeichnete Expression eines Hitzeschockproteins (HSP16) bereits bei SAR-Werten von 1 mW/kg¹⁷ war nach Korrektur der Applikationseinrichtung bei dieser Dosis nicht mehr nachweisbar¹⁸. Der ursprünglich richtig gemessene Effekt war auf eine Erwärmung der thermisch außerordentlich empfindlichen Tiere zurückzuführen. Auch die spektakulären Befunde zu einer möglichen Krebspromotion von 900-MHz-Feldern bei transgenen Mäusen⁸⁴ mussten nach Präzisierung der Methodik revidiert werden⁹³.

In beiden Fällen korrigierten die Arbeitsgruppen ihre Ergebnisse selbst. Leider sind dies Ausnahmen. Wesentlich öfter kommt es vor, dass Resultate eines Labors durch Wiederholungsexperimente anderer bestritten werden. Dies wird dann von außen als Streit der Meinungen interpretiert. „Widerlegen“ kann man höchstens eine philosophische These. Ein experimenteller Befund kann in Zweifel gezogen werden, wenn er sich nicht reproduzieren lässt, „widerlegt“ ist er damit nicht. Lediglich der Nachweis methodischer Fehler, soweit diese aus der Publikation der Ergebnisse überhaupt erkennbar sind, kann die vergeblichen Bemühungen der Replikation eines experimentellen Befundes erklären und die Wahrscheinlichkeit bestärken, dass es sich um ein falsches Resultat gehandelt hat. Trotzdem, und dafür gibt es leider viele Beispiele, werden fehlerhafte Messungen von manchen Interpreten unbeschadet dieses Nachweises immer wieder argumentativ verwendet. Die Vernachlässigung methodischer Sorgfalt von Untersuchungen ist leider nach wie vor eine nicht versiegende Quelle von

Fehlschlüssen⁴⁶. Verstärkt durch entsprechende Pressekampagnen, führt dies immer wieder zu einer unbegründeten Verunsicherung des Bürgers.

Präzisere Erkenntnisse durch Einsatz moderner biomedizinischer Analysemethoden

Natürlich ist nicht nur bezüglich der HF-Technik ein deutlicher methodischer Fortschritt zu verzeichnen, sondern gleichfalls hinsichtlich biomedizinischer Analysemethoden. Während ersteres jedoch vornehmlich als Anwendung bereits existierenden technischen Wissens auf die Entwicklung von Applikatoren und Methoden der Dosimetrie zu betrachten ist, profitierte die bioelektromagnetischer Forschung unmittelbar von der raschen Entwicklung der biomedizinischen Analysetechnik generell.

Genannt sei zum Beispiel die Entwicklung der HTS-Technologien (High Throughput Screening Technologies), eine Gruppe molekularbiologischer Analysemethoden, die es erlauben in kurzer Zeit eine riesige Anzahl molekularbiologischer Daten aus kleinsten Probemengen zu erfassen⁶². Allerdings ist auch hier größte Sorgfalt hinsichtlich statistischer Absicherung der Ergebnisse zu fordern. So mussten voreilige Schlüsse bezüglich möglicher Expression von Stressproteinen und deren potentieller Krebsgefahr⁶¹ in Folge korrigiert werden^{45, 48, 94}. Nur eine genaue Kenntnis der physiologischen Variabilität dieser komplexen Parameter, verbunden mit der Durchführung von Positivkontrollen erlaubt es, eventuelle Änderungen im Experiment mit exponierten Systemen richtig zu interpretieren. Die schnelle Erfassung großer Datenmengen allein reicht nicht aus.

In diesem Zusammenhang ist auch die Diskussion über Experimente aufschlussreich, aus welchen man schloss, dass in menschlichen Fibroblasten durch HF-Felder an der Obergrenze maximal zulässiger Intensität DNA-Schäden erzeugt werden²⁰. Die Autoren bezogen sich dabei auf Resultate aus dem so genannten Comet-Assay, einem Elektrophorese-Test, welcher routinemäßig zum Nachweis von DNA-Strangbüchsen verwendet wird. Dieser Test, besonders wenn seine Auswertung wie bei diesen Experimenten manuell und nicht automatisiert erfolgt, ist allein genommen für weitreichende Schlussfolgerungen nicht aussagekräftig genug, zeigt er doch auch Aberrationen an, die sich im natürlichen Zellzyklus abspielen⁹⁵. Nur ein Nachweis weiterer Konsequenzen dieses Vorganges könnte zu einer berechtigten Schlussfolgerung führen. Versuche, diese Ergebnisse mit verbesserter Technik zu reproduzieren, blieben ergebnislos⁸⁹.

Die Untersuchung möglicher Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf kognitive Leistungen des Menschen, sein Reaktionsvermögen, aber auch sein Schlafverhalten haben in den vergangenen Jahren stark von der allgemeinen Entwicklung der Neurophysiologie und ihrer Methoden profitiert. Dies betrifft einmal den Komplex der EEG-Messungen, zum anderen aber auch die Möglichkeit, Durchblutungsänderungen mit Hilfe der Positronen-Resonanz-Tomographie (PET) nachzuweisen^{51, 52}. Leider besteht das Problem vieler dieser Methoden darin, dass sich aus technischen Gründen Messungen während der Exposition verbieten¹⁴.

Überraschenderweise zeigen solche Untersuchungen immer wieder unreproduzierbare Effekte. In einigen Fällen scheiterten die Forschungsgruppen daran, ihre eigenen Ergebnisse zu reproduzieren (zum Beispiel: Röschke⁸⁵ versus Wagner⁹⁷; Eulitz^{24, 39} versus Hamblin⁴⁰). Im Gegensatz zu den oben genannten Beispielen scheint dies allerdings in den meisten Fällen nicht an technischen Mängeln oder Sorgfalt der Experimentatoren zu liegen, sondern Ursachen im Systemverhalten selbst zu haben. Trotz allem kommt man zu dem Schluss, dass zwar nicht die Exposition durch einen nahen Sendemast, mitunter jedoch die Felder eines Mobiltelefons am Ohr geringfügige Einflüsse auf das Gehirn ausüben können, die jedoch vom physiologischen Zu-

stand des Probanden abhängig sind und sich in den Grenzen neurophysiologischer Alltagsschwankungen halten. Anfängliche Behauptungen, derartige Messungen ergäben Hinweise auf gesundheitsschädigende Wirkungen⁵⁶, sind allerdings hinfällig. Trotzdem sollte man den Mechanismen, die zu diesen Effekten führen nachgehen. Krause et al.⁵⁸ nehmen an, dass es sich dabei um Reaktionen auf geringe kortikale Erwärmungen handeln könnte. Dafür würden auch die lokalen Durchblutungsänderungen sprechen, die mit Hilfe der PET gemessen wurden⁵¹. Offenbar wird immer noch die Empfindlichkeit des Systems physiologischer Thermorezeption unterschätzt³³.

Der Weg epidemiologischer Forschung

In den letzten Jahren ist ein deutlicher Zuwachs der Anzahl epidemiologischer Erhebungen über mögliche Einwirkungen der Felder des Mobilfunks zu verzeichnen, der natürlich auch auf den rapide steigenden Gebrauch dieser Geräte zurückzuführen ist. Gleichzeitig gibt es aber auch einen deutlichen Trend zu Konkretisierung der Ergebnisse und zur Elimination von Fehlentscheidungen.

Epidemiologische Studien zu möglichen gesundheitlichen Konsequenzen der Exposition mit hochfrequenten Feldern begannen mit der Erfassung beruflich Exponierter, wie Arbeiter in Rundfunkanstalten, Radar- und Flugpersonal, insbesondere im militärischen Bereich, wobei die Studie von Szmigielski⁹² über angebliche feldbedingte Krebsfälle im polnischen Militär besonders intensiv und kontrovers diskutiert wurde. Generell ließen die Erhebungen über berufsmäßige Exposition mit HF-Feldern jedoch keine deutlichen Zusammenhänge erkennen, hauptsächlich wohl wegen der mangelhaften Dosimetrie sowie durch die sehr unterschiedlichen und zum Teil intensiven Confounder, das heißt ebenfalls berufsspezifischen Einflüsse durch andere Agenzien^{11, 22, 23, 55}. Erst in den 90-er Jahren erschienen dann auch Erhebungen die sich mit möglichen Folgen hochfrequenter Exposition der Bevölkerung befassten. So interessierte man sich zum Beispiel für einen möglichen Zusammenhang zwischen Kinderleukämie und der Nähe des Wohnortes zu Sendemasten von Rundfunk und Fernsehen^{21, 49, 69, 70}. Rothman et al.⁸⁶ wiesen erstmalig auf die Notwendigkeit hin, einen möglichen Zusammenhang zwischen Hochfrequenzexposition und Hirntumoren epidemiologisch zu untersuchen, wobei er gleichzeitig auf die methodischen Schwierigkeiten dieses Unterfangens aufmerksam machte.

Erst Ende der 90-er Jahre richtete sich die Aufmerksamkeit epidemiologischer Forschung unmittelbar auf mögliche Einflüsse des Mobiltelefons auf die Gesundheit. Die erste Fallkontrollstudie zu einem möglichen Zusammenhang mit dem Auftreten von Hirntumoren stammt wohl von Hardell et al.⁴³ aus dem Jahre 1999. In den Folgejahren wurden einige Fallkontrollstudien in dieser Richtung publiziert, die allerdings keine eindeutigen Schlüsse zuließen^{42, 43, 54, 72, 74, 75, 100}. Es erschienen in Folge auch Publikationen, in denen körperliches Unwohlsein und andere allgemeine Symptome in Zusammenhang mit Wohnen in der Nähe von Basisstationen des Mobilfunks erfasst wurden^{7, 76}. Diese Studien wiesen jedoch oftmals gravierende methodische Fehler auf. Eine umfangreiche Zusammenfassung der Situation stellten fünf Mitglieder des ständigen Epidemiologie-Komitees der ICNIRP zusammen⁵. Sie kommen zu dem Schluss, dass bis 2004 die epidemiologischen Befunde keinen schlüssigen und überzeugenden Hinweis lieferten, der einen kausalen Zusammenhang zwischen einer Exposition durch Hochfrequenzfelder und irgend einem bedenklichen Gesundheitsschaden erkennen ließ. Gleichzeitig weisen sie auf Fehlermöglichkeiten hin, die sich sowohl auf die Erhebungstatistik als auch auf die Dosimetrie beziehen. Immer wieder taucht dabei das Problem der kleinen Zahl auf. Wenn von 100.000 Menschen im Durchschnitt pro Jahr nur etwa 10-15 an einem Hirntumor erkranken, dann reicht dies für

eine statistisch abgesicherte Erhebung natürlich nicht aus. Ein weiteres Problem sind die so genannten „Confounder“, die vielen anderen, zumeist nicht erfassten, oftmals auch nicht erfassbaren Ursachen gesundheitlicher Störungen, an denen unsere moderne Umwelt bekanntlich reich ist.

Alle diese kritischen Bemerkungen haben zu einer deutlichen Verbesserung der neuen epidemiologischen Erhebungen geführt, zum Teil unter Nutzung von Angaben aus Krebsregistern^{13, 59, 67, 68}. Die Untersuchungen der letzten Jahre zeichnen sich dadurch aus, dass internationale Zusammenarbeit zu einer Erhöhung der Fallzahlen führte. Als Beispiel sei die INTERPHONE-Studie genannt, an der sich 13 Länder beteiligten. Obgleich keine der bisher durchgeführten Studien einen Einfluss von Mobilfunkanlagen oder Handys auf Wohlbefinden oder Gesundheit nachweisen konnten, finden wir doch fast bei jeder dieser Publikationen den Schlusssatz: „weitere Untersuchungen sind notwendig“. Dies mag an der Restunsicherheit jeder dieser Befunde liegen, zum Teil aber auch an den immer noch bestehenden Bedenken zu Langzeiteffekten. Dabei ist man heute besser in der Lage, Fehler zu erkennen und daraus Empfehlungen über die Art weiterführender Arbeiten auszusprechen^{77, 87, 96}.

Modelle und Hypothesen zu möglichen biophysikalischen Wirkungsmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder

An anderer Stelle wurde bereits ausführlich über Primärprozesse der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder berichtet³⁴. Hier sollen lediglich exemplarisch die Entwicklungen der letzten zwei Jahrzehnte beleuchtet und Tendenzen erkannt werden. „*Hypotheses non fingo*“ – (Hypothesen erfinde ich nicht) meinte Newton und wies damit auf den Bezug zwischen Experiment und Theorie hin. In der EMF-Forschung ist diese Verbindung offensichtlich: Vermeintliche Feldeffekte spornten die Biophysiker immer wieder an über Mechanismen nachzudenken, theoretisch erarbeitete Modelle stimulierten zu neuen Experimenten. Diese Wechselwirkung zwischen Theorie und Experiment ergibt entweder eine Spirale, die sich asymptotisch dem Punkt der Erkenntnis nähert, oder, wenn es an objektiver Realität fehlt, einen Kreislauf der allmählich versandet.

Im Falle Dielektrophorese und Elektrorotation gab es eine Erfolgsspirale: Experiment und Theorie führten zu Erkenntnissen, die heute ihren unbestrittenen Platz in der Biotechnologie haben^{31, 35}. Diese beiden nicht-thermischen Prozesse der Polarisierung durch hochfrequente Felder erfordern jedoch Feldstärken, die mehrere Zehnerpotenzen über den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten liegen und deshalb für die Thematik dieses Beitrages ohne Bedeutung sind. Die Forschung zu HF-Feldern geringerer Intensitäten gleicht hingegen bisher leider der Alternativsituation. Dies sei an zwei Beispielen erläutert.

Das eine hängt mit der Cyclotron-Resonanz-Hypothese von A. R. Liboff zusammen, die sich zunächst auf das Zusammenwirken von statischem Magnetfeld und niederfrequenten EMF bezog⁶³, später auch auf niederfrequent modulierte HF-Felder ausgedehnt wurde. Besonders spektakulär waren damals die Experimente aus dem Labor von Ross Adey, wonach hochfrequente Felder (147 MHz) auf den Kalziumhaushalt des Gehirns einwirken sollten, wenn diese mit 16 Hz moduliert waren^{8, 10}. Bereits 1982 hatten allerdings Merritt und Shelton⁷¹ die Befunde dieser Gruppe als methodisch fehlerhaft und unreproduzierbar verworfen. Auch die von Bawin und Blackman behauptete Beeinflussung des Kalzium-Signalweges in Lymphozyten durch modulierte hochfrequente Felder ließ sich nicht reproduzieren¹⁵. Nicht nur experimentell, auch physikalisch erwies sich diese Hypothese inzwischen als unrealistisch¹. Unabhängig davon wurde klar, dass niederfrequente Felder nicht das Resultat einer Demodulation hoch-

frequenter Felder durch das biologische System sein können²⁸. So lief die ganze, mit vielen Publikationen unterlegte Richtung schließlich ins Leere. Nur in bestimmten Außenseitergruppen wird die Bawin-Publikation mitunter immer noch unkritisch zitiert, wenn sie sich gut als Argument verwenden läßt.

Das zweite Beispiel bezieht sich auf die Theorie kohärenter Erregung von H. Fröhlich, dem unter anderem ein spezielles Symposium in Bad Neuenahr im Jahre 1982 gewidmet war³⁰. Auch diese Theorie und ihre vorausgesagten scharfen Resonanzfenster im GHz-Bereich ließ sich weder experimentell noch theoretisch verifizieren^{36, 37} trotz anfänglicher experimenteller Hinweise³⁸.

Im Zusammenhang mit diesen Vorstellungen sind auch die Versuche von T. Litovitz zu sehen, der eine „coherence time“ postulierte, eine kurze Zeitspanne, die benötigt würde, die niederfrequente Kohärenz bei HF-Modulationen im biologischen System einzustellen⁶⁶. Er beharrte noch auf seiner Vorstellung von der Beeinflussung der Aktivität von Ornithindecaboxylase (ODC) durch niederfrequente Fenstereffekte^{73, 81} auch nachdem alle Versuche anderer Arbeitsgruppen fehlgeschlagen waren, dies zu reproduzieren [z.B.⁶] (speziell zu dieser Kontroverse siehe:^{32, 65}).

Als entscheidenden Fortschritt des letzten Jahrzehnts erscheint die experimentell wie theoretisch untermauerte Feststellung, dass es eine resonante Energieakkumulation hochfrequenter Schwingungen wegen der starken viskösen Dämpfung im wässrigen Milieu nicht geben kann^{2, 3, 12, 26, 82, 83}. Damit entfallen auch die Argumente für scharfe Frequenzfenster der Wirkung hochfrequenter Felder.

Weder die ursprünglich vermutete Induktion von Kalzium-Signalen, noch die ODC-Befunde^{19, 45, 50}, auch nicht die anfänglich behaupteten Veränderungen im Melatonin-Haushalt^{44, 90, 101} haben sich bestätigt. Viele dieser Befunde beruhen auf Methoden der Fluoreszenzmikroskopie. Dabei wird oftmals übersehen, dass die Zellen dabei mitunter einer UV-Strahlung ausgesetzt sind, die deutlichere Effekte setzt als die applizierten Hochfrequenzfelder⁵³.

Ein bereits 1985 vermuteter Einfluss hochfrequenter EMF auf das komplizierte System der Beseitigung schädlicher Sauerstoffradikale (ROS = „reactive oxygene species“) des Zellstoffwechsels⁶⁴ wurde in den letzten Jahren erneut aufgegriffen und widersprüchlich diskutiert^{25, 29, 57, 60, 78, 88, 102}. Diesen Vorstellungen liegt allerdings kein plausibler biophysikalischer Mechanismus zugrunde. Die Entwicklung wird zeigen, ob sich die Messungen verifizieren lassen, oder ob diejenigen Recht behalten, welche die biologische Variationsbreite dieses Systems und die Unsicherheit der Analysenmethode für die Ursache bisheriger Befunde halten.

Resumiert man die Feststellungen dieses Abschnittes, so drängt sich der Schluss auf, dass die 15 Jahre dieses Berichtszeitraums eine Zeit des Aufräumens mit unrealistischen Hypothesen waren. Folgt man Newtons „*Hypotheses non fingo*“, so ist die Frage erlaubt: Welche unbestrittenen experimentellen Effekte erfordern eigentlich heute noch eine biophysikalische Erklärung?

„Nicht-thermische“ oder „subtle-thermal“ Effekte?

Betrachtet man die eingangs aufgeführten Messungen neurologischer Art, inklusive deren Variabilität, und zusätzlich die immer wieder publizierten Ergebnisse zum Auftreten von Hitzeschockproteinen^{16, 91}, so wird man letztlich doch wieder auf eine thermische Wirkung hochfrequenter Felder zurückverwiesen, auch wenn dies nicht immer als Temperaturerhöhung messbar ist. Bezüglich der Hitzeschockproteine scheint dies deutlich, denn viele Befunde in letzter Zeit zeigen, dass diese Reaktion der Zellen tatsächlich nur dann zu erwarten ist, wenn ein Temperaturstress auftritt^{47, 88, 98}. Der Begriff „nicht-thermischer Effekt“ besitzt einen populistischen Anstrich, sugge-

riert er doch, es gäbe geheimnisvolle, noch unentdeckte gesundheitsschädliche Wirkungen elektromagnetischer Felder, die bei der Festlegung der Grenzwerte nicht berücksichtigt worden seien. Dem Laien ist leicht zu vermitteln, dass elektrische Schwingungen an Ladungen aller Art angreifen, und dadurch im biologischen System unvorstellbare Schäden anrichten könnten. Dabei liegt das Problem nicht im Prinzip dieser Einwirkungen, die es unbestreitbar gibt, sondern in der Frage der Dosimetrie und darin, ob diese Schwingungen im Rauschen untergehend unspezifisch zu Wärme dissipieren, also letztlich „thermisch“ sind, oder ob sie zuvor und unter Umständen in geringsten thermisch nicht nachweisbaren Energiebeträgen spezifische Auswirkungen haben könnten.

Diese Fragestellung ist so alt wie die Forschung zur Wirkung elektromagnetischer Felder selbst und reicht mithin bis an das Ende des 19. Jahrhunderts zurück³⁴. Die letzten Jahre haben durch wissenschaftliche Publikationen und vor allem auch durch Diskussionen in Fachkonferenzen ganz wesentlich zur Klärung beigetragen.

Eingangs wurde bereits darüber berichtet, wie manche „nicht-thermischen“ Effekte nach einer Korrektur der Applikationseinrichtung verschwanden, weil sie eben doch das Resultat unkontrollierter Erwärmung waren. Doch selbst nach Abzug von Ergebnissen aus Publikationen, in denen Erwärmungseffekte nachgewiesen oder zumindest zu vermuten sind, bleiben eine Reihe von Befunden, die nicht so leicht durch eine messbare Erwärmung erklärbar sind. Fortschritte auf dem Gebiet thermosensibler Ionenkanäle und sogenannter „Riboswitches“ haben im letzten Jahrzehnt allerdings gezeigt, dass diese molekularen Thermometer in vielen Zellen in bestimmten Temperaturbereichen so empfindlich reagieren und biochemische Signalketten auslösen können, dass makroskopische Temperaturänderungen nicht messbar sind^{27, 33}. Das Resultat solcher Reaktionen können sowohl spezielle Proteinexpressionen als auch lokale Änderungen der Durchblutung sein, was zu messbaren Änderungen im EEG führen könnte. Da diese Reaktionen jedoch außerdem von verschiedenen anderen physiologischen Parametern abhängen, erklärt sich die oben beschriebene Schwierigkeit der Reproduktion dieser neurologischen Effekte.

Somit sind die „nicht-thermischen“ Effekte in Wirklichkeit als „subtle-thermal“, also minimal-thermische Alltagseffekte einzustufen. Sie treten auch auf, wenn der Mensch an Sommertagen schwitzt, den wohltuenden Strahl einer warmen Dusche spürt oder anderweitig seine Thermoregulation aktiviert. Der Biophysiker interessiert sich natürlich für jeden unzweifelhaft nachgewiesenen Effekt hochfrequenter Felder auf das biologische System, der Strahlenschutz hat hingegen nur solche Einflüsse zu beachten, die in irgend einer Form gesundheitlich relevant sind. Es hat sich die von Bernhardt bereits 1999 publizierte Feststellung erhärtet⁹: „Eine mögliche pathologische Bedeutung bisher beschriebener Berichte über sogenannte nichtthermische Effekte ist derzeit rein spekulativ.“

Schlussfolgerungen

Kommen wir also zu dem Schluss: „Das Problem ist geklärt. Die Wissenschaft hat bewiesen, dass es im Rahmen der Grenzwerte keine gesundheitsschädlichen Einwirkungen der Felder des Mobilfunks gibt.“ - Leider kann dieses Postulat nur mit Einschränkungen gelten: Prinzipiell kann die Wissenschaft die Nicht-Existenz eines Prozesses nicht beweisen. Der Satz müsste also lauten: „Die Forschung der letzten Jahrzehnte konnte einerseits mit vielen Irrtümern bezüglich der Wirkung hochfrequenter Felder aufräumen und trotz weltweiter Bemühungen bisher keinen reproduzierbaren Beleg einer gesundheitlichen Gefahr durch diese Felder im Rahmen der gültigen Grenzwerte nachweisen.“

Da es sich aber hierbei nicht um ein Agens handelt, das nur einen geringen Prozentsatz der Population betrifft, sondern um Felder, denen qualitativ und quantitativ unterschiedlich zunehmend jeder Bürger der zivilisierten Welt inzwischen ausgesetzt ist, kann man sich mit dieser Aussage nicht zufrieden geben. Folgende Aktivitäten auf diesem Gebiet erscheinen dem Autor für die Zukunft von Bedeutung:

- Die technische Nutzung hochfrequenter Felder ist in schneller Entwicklung und damit erhöht sich qualitativ und quantitativ die Exposition des Bürgers. Wenn bisher auch enge Fenstereffekte für spezielle Frequenzen und Intensitäten hochfrequenter Felder nicht nachweisbar waren, so sind in dem breiten Frequenzbereich in den Größenordnungen von 0,1 bis 10 GHz durchaus unterschiedliche Wirkungsmechanismen bei stärkeren Intensitäten zu erwarten. Daraus ergibt sich die Verpflichtung, bei jeder technischen Neuerung die gesundheitlichen Konsequenzen der dort verwendeten Intensitäten, Frequenzen und Modulationen neu einzuschätzen und gegebenenfalls neue Forschungsprojekte auszulösen, um möglichen gesundheitsrelevanten Einwirkungen vorzubeugen.
- Der in Abb. 1 gezeigte quantitative Anstieg der Anzahl wissenschaftlicher Publikationen erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit. Da immer wieder Experimente publiziert werden, die ohne zuverlässige Dosimetrie, ohne Doppelblind-Auswertung und Positivkontrolle, also mit mangelhafter Qualität entsprechend moderner Technik durchgeführt werden und daher häufig fehlerhaft sind, ist eine wachsame Qualitätskontrolle erforderlich. Leider gibt es viele Beispiele dafür, dass Ergebnisse von oberflächlich oder falsch durchgeführten Experimenten, durch die Presse hervorgehoben, zu spektakulären Reaktionen in der Öffentlichkeit führten. Millionenteure Forschungsprojekte wurden dann erforderlich, die letztlich diese Ergebnisse nicht aus der Welt schaffen konnten, auch wenn diese keine Bestätigung fanden und Fehlerquellen nachweisbar waren. Dem gilt es durch Kontrolle und Anleitung vorzubeugen. Hierzu ist eine sorgfältige Beobachtung der Forschungsaktivitäten und eine gut koordinierte internationale Kooperation erforderlich.
- Eine wichtige und nicht abklingende Aufgabe besteht darin, unbegründeten Bedenken des Bürgers bezüglich möglicher Gefahren durch hochfrequente Felder durch sachliche Aufklärung entgegenzuwirken. Diesbezüglich erscheint es auch wichtig, selbst den oben erwähnten Effekten nachzugehen, die eigentlich im Rahmen von Alltagsveränderungen liegen ohne gesundheitlich relevanten Charakter. Nur durch Kenntnis des Mechanismus auch solcher Alltagseffekte kann eine wissenschaftliche Extrapolation und Wertung von Expositionen generell vorgenommen werden.

Literatur

1. Adair RK: A physical analysis of the ion parametric resonance model. *Bioelectromagnetics* 19 (1998) 181-191.
2. Adair RK: Vibrational Resonances in biological systems at microwave frequencies. *Biophys. J.* 82 (2002) 1147-1152.
3. Adair RK: Comment on the comment by Dr. Marino and Dr. Frilot on "proposed test for detection of nonlinear response in biological preparations exposed to RF energy". *Bioelectromagnetics* 24 (2003) 440-441.
4. Adair RK: Comment on "thermal noise limit on the sensitivity of cellular membranes to power frequency electric and magnetic fields". *Bioelectromagnetics* 24 (2003) 444-445.

5. Ahlbom A, Green A, Kheifets L, Savitz D, and Swerdlow A: Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environ. Health Persp.* 112 (2004) 1741-1754.
6. Azadniv M, Klinge CM, Gelein R, Carstensen EL, Cox C, Brayman AA, Miller MW: A test of the hypothesis that a 60-hz magnetic field affects ornithine decarboxylase activity in mouse L929 cells in vitro. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 214 (1995) 627-631.
7. Balmori A: Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagnetic Biology and Medicine* 24 (2005) 109-119.
8. Bawin SM, Adey WR, Sabbot IM: Ionic factors in release of $^{45}\text{Ca}^{2+}$ from chicken cerebral tissue by electromagnetic fields. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 75 (1978) 6314-6318.
9. Bernhardt JH: Gesundheitliche Aspekte des Mobilfunks. *Deutsches Ärzteblatt* 96 (1999) 845-851.
10. Blackman CF, Benane SG, Elder JA, House DE, Lampe JA, Faulk JM: Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: Effect of sample number and modulation frequency on the power density-window. *Bioelectromagnetics* 1 (1980) 35-43.
11. Blettner M; Schlehofer B: Gibt es ein erhöhtes Risiko für Leukämien, Hirntumoren oder Brustkrebs nach Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung? *Med. Klin.* 94 (1999) 150-158.
12. Challis LJ.: Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue. *Bioelectromagnetics Supplement* 26 (2005) S98 - S106.
13. Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Thomsen J, and Johansen C: Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am. J. Epidem.* 159 (2004) 277-283.
14. Cook CM, Saucier, DM, Thomas AW, and Prato FS: Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields: The time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001-2005). *Bioelectromagnetics* 27 (2006) 613-627.
15. Cranfield CG, Wood AW, Anderson V, and Menezes KG: Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-cells (Jurkat cells). *Intern. J. Radiat. Biol.* 77 (2001) 1207-1217.
16. Czyn J, Guan K, Zeng Q, Nikolova T, Meister A, Schönborn F, Schuderer J, Kuster N, Wobus AM: High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells. *Bioelectromagnetics* 25 (2004) 296-307.
17. de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil, Thomas D., Sewell P., Tattersall J., Jones D, Candidos P: Non-thermal heat-shock response to microwaves. *Nature* 405 (2000) 417-418.
18. de Pomerai DI, Smith B, Dawe A., North K, Smith T, Archer DB, Duce IR, Jones D, and Candido PM: Microwave radiation can alter protein conformation without bulk heating. *FEBS Letters* 543 (2003) 93-97.
19. Desta AB, Owen RD, and Cress LW: Non-thermal exposure to radiofrequency energy from digital wireless phones does not affect ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Radiat. Res.* 160 (2003) 488-491.
20. Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O and Rüdiger H.: Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutat. Res. - Gen. Toxicol. Environ. Mutag.* 583 (2005) 178-183.

21. Dolk H, Elliott P, Shaddick G, Walls P, Thakrar B: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. 2. All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.* 145 (1997) 10-17.
22. Elwood JM: A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers. *Environ. Health Persp.* 107 (1999) 155-168.
23. Elwood, JM: Epidemiological studies of radio frequency exposures and human cancer. *Bioelectromagnetics Suppl.* 6 (2003) S63-S73.
24. Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T: Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 9 (1998) 3229-3232.
25. Ferreira AR, Bonatto F, Pasquali MAD, Polydoro M, Dal-Pizzoi F, Fernandez C, De Salles AAA, and Moreira JCF: Oxidative stress effects on the central nervous system of rats after acute exposure to ultra high frequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 27 (2006) 487-493.
26. Foster KR, Baish JW: Viscous damping of vibrations in microtubules. *J. Biol. Phys.* 26 (2000) 255-260.
27. Foster KR, Glaser R: Thermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems with relevance to exposure guidelines. *Health Physics* 92 (2007) 609-620.
28. Foster KR, Repacholi MH: Biological effects of radiofrequency fields: does modulation matter? *Radiat. Res.* 162 (2004) 219-225.
29. Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, and Seger R: Mechanism of a short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequency. *Biochem. J.* published on 25 Apr 2007 as manuscript BJ20061653 (2007)
30. Fröhlich H, Kremer F (eds.): *Coherent Excitations in Biological Systems.* - Springer Verlag, Berlin (1983)
31. Fuhr G, Hagedorn R: Cell Electrorotation. In: Lynch, PT., M R Davey (eds.): *Electrical Manipulation of Cells.* Chapman & Hall, New York (1996) 38-70.
32. Glaser R: Do electromagnetic fields really increase the ornithin-decarboxylase (ODC) activity of cells? What happens with the 'coherence time' effect - A comment to the papers of T.A. Litovitz et al. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 46 (1998) 301-302.
33. Glaser R: Are thermoreceptors responsible for „non-thermal“ effects of RF fields? *Edition Wissenschaft* 21 (2005) 3-13.
34. Glaser R: Biophysikalische Primärreaktionen hochfrequenter elektromagnetischer Felder. *News Letter FGF* (2006) 10-21.
35. Glaser R, Fuhr G: Electrorotation - The spin of cells in rotating high frequency electric fields. In: M. Blank and E. Findl (eds.); *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems;* Plenum Press, New York (1987) 271-289.
36. Gos P, Eicher B, Kohli J, Heyer WD: Extremely high frequency electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Bioelectromagnetics* 18 (1997) 142-155.
37. Gos P, Eicher B, Kohli J, and Heyer WD: No mutagenic or recombinogenic effects of mobile phone fields at 900 MHz detected in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioelectromagnetics* 21 (2000) 515-523.
38. Grundler W, Keilmann F: Resonant microwave effects on locally fixed yeast microcolonies. *Z. f. Naturf.* 44c (1989) 863-866.
39. Hamblin DL and Wood AW: Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int. J. Radiat. Biol.* 78 (2002) 659-669.

40. Hamblin DL, Wood AW, Croft, RJ, and Stough C: Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clinical Neurophysiology* 115 (2004) 171-178.
41. Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A: Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumors. *Europ. J. Cancer Prevention* 11 (2002) 377-386.
42. Hardell L, Mild KH, and Carlberg M: Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Intern. J. Oncology* 22 (2003) 399-407.
43. Hardell L, Näsman Å, Pahlson A, Hallquist A, Mild KH: Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. *Intern. J. Oncology* 15 (1999) 113-116.
44. Hata K, Yamaguchi H, Tsurita G, Watanabe S, Wake K, Taki M, Ueno S, and Nagawa H: Short term exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in rats. *Bioelectromagnetics* 26 (2005) 49-53.
45. Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Laitinen JT, Lang S, Puranen L, and Juutilainen J: Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumorigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice. *Intern. J. Radiat. Biol.* 79 (2003) 221-233.
46. Heynick LN, Johnston SA, and Mason PA: Radio frequency electromagnetic fields: Cancer, mutagenesis, and genotoxicity. *Bioelectromagnetics Suppl.* 6 (2003) S74-S100.
47. Hirose H, Sakuma N, Kaji N, Nakayama K, Inoue K, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J: Mobile phone base station-emitted radiation does not induce phosphorylation of Hsp27. *Bioelectromagnetics* 28 (2007) 99-108.
48. Hirose H, Sakuma N, Kaji N, Suhara T, Sekijima M, Nojima T, and Miyakoshi J: Phosphorylation and gene expression of p53 are not affected in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW or W-CDMA modulated radiation allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics* 27 (2006) 494-504.
49. Hocking B, Gordon IR, Grain HL, Hartfield GH: Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Aust.* 165 (1996) 601-605.
50. Hoytö A, Sihvonen AP, Alhonen A, Juutilainen J, and Naarala J: Modest increase in temperature affects ODC activity in L929 cells: low-level radiofrequency radiation does not. *Radiat. Environ. Biophys.* 45 (2006) 231-235.
51. Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, and Achermann P: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J. Sleep Res.* 11 (2002) 289-295.
52. Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, and Achermann P: Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Europ. J. Neurosci.* 21 (2005) 1000-1006.
53. Ihrig I, Heese C, Glaser R: Alterations of intracellular calcium concentration in mice neuroblastoma cells by electrical field and UVA. *Bioelectromagnetics* 18 (1997) 595-597.
54. Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro, W.R., Selker RG, Fine HA, Black PM, Loeffler JS, Linet MS: Cellular-telephone use and brain tumors. *N-Engl. J. Med.* 344 (2001) 79-86.
55. Kheifets, LI: Electric and magnetic field exposure and brain cancer: A review. *Bioelectromagnetics* S5 (2001) S120-S131.

56. von Klitzing L: Low frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* 11 (1995) 77-80.
57. Koyu A, Cesur G, Ozguner F, Akdogan M, Mollaoglu F, and Ozen S: Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. *Toxicology Letters* 157 (2005) 257-262.
58. Krause CM, Bjornberg CH, Pesonen M, Hulten A, Liesivuori T, Koivisto M, Revonsuo A, Laine M, and Hamalainen H: Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. *Intern. J. Radiat. Biol.* 82 (2006) 443-450.
59. Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker M, Christensen HC, Feychting M, Johansen Ch, Klæboe L, Lönn St, Swerdlow AJ, Tynes T, and Salminen T: Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int. J. Cancer* 120 (2007) 1769-1775.
60. Lantow M, Schuderer J, Hartwig C, and Simko M: Free radical release and HSP70 expression in two human immune-relevant cell lines after exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* 165 (2006) 88-94.
61. Leszczynski D, Joenvaara S, Reivinen J, and Kuokka R: Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 70 (2002) 120-129.
62. Leszczynski D and Metz ML: Questions and answers concerning applicability of proteomics and transcriptomics in EMF research. *Proteomics* 6 (2006) 4674-4677.
63. Liboff AR: Cyclotron resonance in membrane transport. In: A. Chiabrera et al. (eds.), *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*; Plenum, London (1985) 281-296.
64. Liburdy RP, Vanek PF: Microwave and cell membranes. II. Temperature, plasma and oxygen mediate microwave-induced membrane permeability in erythrocyte. *Radiat. Res.* 102 (1985) 190-205.
65. Litovitz TA: Can electromagnetic fields modify the activity of ornithine decarboxylase (ODC)? What happens with the 'coherence time' effect? A reply to the comment by R. Glaser. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 46 (1998) 303-306.
66. Litovitz TA, Krause D, Penafiel M, Elson EC, Mullins JM: The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity. *Bioelectromagnetics* 14 (1993) 395-403.
67. Lonn S, Ahlbom A, Christensen HC, Johansen C, Schüz J, Edstrom S, Henriksson G, Lundgren J, Wennerberg J, and Feychting M: Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Am. J. Epidem.* 164 (2006) 637-643.
68. Lönn S, Forssen U, Vecchia P, Ahlbom A, and Feychting M.: Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. *Occup Environ Med* 61 (2004) 769-722.
69. Mascarinec G, Cooper J, Swygert L: Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio tower in Hawaii: preliminary observations. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 13 (1994) 33-37.
70. McKenzie DR, Yin Y, Morrell S: Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney - second look. *Austral. New Zealand J. Pub. Health* 22 (1998) 360-367.
71. Merritt JH; Shelton, Chamness AF: Attempts to alter $^{45}\text{Ca}^{2+}$ binding to brain tissue with pulse-modulated microwave energy. *Bioelectromagnetics* 3 (1982) 475-478.

72. Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K, Exuzides KA, Heringer S, and Negrete W: Radio-frequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 11 (2000) 118-127.
73. Mullins JM, Litovitz TA, Penafiel M, Desta A, Krause D: Intermittent noise affects EMF-induced ODC activity. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 44 (1998)
74. Muscat JE, Malkin MG, Shore RE et al.: Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 58 (2002) 1304-1306.
75. Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee, Neugut AI, Wynder EL: Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 284 (2000) 3001-3007.
76. Navarro EA, Segura J, Portoles M, and GomezPerretta C: The microwave syndrome: A preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine* 22 (2003) 161-169.
77. Neubauer G, Feychting M, Hamnerius Y, Kheifets L, Kuster N, Ruiz I, Schüz J, Uberbacher R, Wiart J, and Rööslı M: Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations. *Bioelectromagnetics* 28 (2007) 224-230.
78. Oktem F, Ozguner F, Mollaoglu H, Koyu A, and Uz E: Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone: Protection by melatonin. *Arch. Med. Res.* 36 (2005) 350-355.
79. Ozguner F, Bardak Y, and Comlekci S: Protective effects of melatonin and caffeic acid phenethyl ester against retinal oxidative stress in long-term use of mobile phone: A comparative study. *Mol. Cell. Biochem.* 282 (2006) 83-88.
80. Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Nezis IP, and Margaritis LH: Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. *Mutat. Res.-Genetic Toxicol. Environ. Mutag.* 626 (2007) 69-78.
81. Penafiel LM, Litovitz T, Krause D, Desta A, Mullins JM: Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Bioelectromagnetics* 18 (1997) 132-141.
82. Pickard WF and Moros EG: Energy deposition processes in biological tissue: Nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra-high frequency range. *Bioelectromagnetics* 22 (2001) 97-105.
83. Prohofsky EW: RF absorption involving biological macromolecules. *Bioelectromagnetics* 25 (2004) 441-451.
84. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW: Lymphomas in *Em̄-Pim1* transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* 147 (1997) 631-640.
85. Rösckhe J, Mann K: No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18 (1997) 172-176.
86. Rothman KJ, Chou CK, Morgan R, Balzano Q, Guy AW, Funch DP, Preston-Martin S, Mandel J, Steffens R, Carlo G: Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research. *Epidemiology* 7 (1996) 291-298.
87. Schüz J, Johansen Ch.: A comparison of self-reported cellular telephone use with subscriber data: agreement between the two methods and implications for risk estimation. *Bioelectromagnetics* 28 (2007) 130-136.
88. Simko A, Hartwig C, Lantow A, Lupke A, Mattsson MO, Rahman Q, and Rollwitz J: Hsp70 expression and free radical release after exposure to non-thermal radio-frequency electromagnetic fields and ultrafine particles in human Mono Mac 6 cells. *Toxicology Letters* 161 (2006) 73-82.

89. Speit G, Schuetz P, and Hoffmann H: Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. *Mutat. Res.-Genetic Toxicol. Environ. Mutag.* 626 (2007) 42-47.
90. Sukhotina I, Streckert JR, Bitz, AK, Hansen VW, and Lerchl A: 1800 MHz electromagnetic field effects on melatonin release from isolated pineal glands. *J. Pineal Res.* 40 (2006) 86-91.
91. Sun LX, Yao K, Wang KJ, Lu DQ, Hu HJ, Gao XW, Wang BH, Zheng W, Lou JL, and Wu W: Effects of 1.8 GHz radiofrequency field on DNA damage and expression of heat shock protein 70 in human lens epithelial cells. *Mutat. Res.-Fund. Mol. Mech. Mutag.* 602 (2006) 135-142.
92. Szmigielski S: Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high-frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci. Total Environ.* 180 (1996) 9-17.
93. Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR: Long-term exposure of E: δ -*Pim1* transgenic mice to 898,4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat. Res.* 158 (2002) 000.
94. Vanderwaal RP, Cha B, Moros EG, and Roti JLR.: Hsp27 phosphorylation increases after 45 degrees C or 41 degrees C heat shocks but not after non-thermal TDMA or GSM exposures. *Intern. J. Hyperthermia* 22 (2006) 507-519.
95. Vijayalaxmi: Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2.45 GHz or 8.2 GHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* 166 (2006) 532-538.
96. Vrijheid M, Deltour I, Krewski D, Sanchez M, and Cardis E: The effects of recall errors and of selection bias in epidemiologic studies of mobile phone use and cancer risk. *J Expo Sci Environ Epidemiol* (2006)
97. Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19 (1998) 199-202.
98. Wang J, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, and Miyakoshi J: Effects of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. *Bioelectromagnetics* 27 (2006) 479-486.
99. Weisbrot D, Lin H, Ye L, Blank M, and Goodman R: Effects of mobile phone radiation on reproduction and development in *Drosophila melanogaster*. *J. Cell. Biochem.* 89 (2003) 48-55.
100. Wilén J, Sandström M, and Mild KH: Subjective symptoms among mobile phone users - A consequence of absorption of radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics* 24 (2003) 152-159.
101. Wood AW: How dangerous are mobile phones, transmission masts, and electricity pylons? *Archives of Disease in Childhood* 91 (2006) 361-366.
102. Zmyslony M, Palus J, Dziubaltowska E, Politanski P, Mamrot P, Rajkowska E, and Kamedula M: Effects of in vitro exposure to power frequency magnetic fields on UV-induced DNA damage of rat lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 25 (2004) 560-562.



Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Roland Glaser war Inhaber eines Lehrstuhls für Biophysik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Prof. Glaser ist Mitglied der Arbeitsgruppe „Mikrodosimetrie HF“ der Strahlenschutzkommission.