

Homöopathie – Bioresonanztherapie

Physiologische und physikalische Voraussetzungen –
Grundlagenforschung

von

P. C. Endler und J. Schulte (Hrsg.)



1996

VERLAG WILHELM MAUDRICH
WIEN – MÜNCHEN – BERN

BIOLOGISCHE WIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

P. Bellavite und A. Signorini

EINLEITUNG

Heute werden alle zellulären und pathophysiologischen Phänomene bis hin zu neuronalen und psychischen Vorgängen ganz überwiegend auf der Grundlage der Molekularbiologie interpretiert. Zur Erklärung von Krankheitsprozessen, gleich ob genetischen oder erworbenen Ursprungs, sucht man nach Mechanismen, bei denen bestimmte Moleküle als Bestandteile anatomischer oder physiologischer Systeme gewisse quantitative und/oder qualitative Veränderungen erfahren und macht dann nach Möglichkeit den Krankheitsprozeß an diesen Mechanismen fest. Getreu dieser molekularen Auffassung von Krankheit erfolgt auch deren medizinische Behandlung meist auf der Grundlage der konventionellen Pharmakologie. Es gibt jedoch vielfältige Hinweise für einen beträchtlichen Forschungsbedarf in der Medizin auf verschiedenen anderen Gebieten. Ihnen zufolge sind biologische Systeme durch hohe Organisationsebenen gekennzeichnet, auf denen eine intermolekulare und interzelluläre Kommunikation biophysikalischer Art stattfindet. Kroy etwa postuliert, daß es ein entwicklungsgeschichtlich sehr altes, von Nerven- und Kreislaufsystem (Blut, Hormonen) unabhängiges kybernetisches System gebe, das sich bis heute in allen Lebewesen erhalten habe [Kroy, 1989]. Diesem alten Regelungssystem wird eine elektromagnetische Natur zugesprochen, denn elektromagnetische Strahlung ist die grundlegendste Form von Information, die es in der Natur gibt. Elektromagnetische Signale bilden die Sprache der Kommunikation unter Atomen und Molekülen und dienen als Medium, durch das Lebewesen seit ihrer Entstehung Information über die Umwelt empfangen (Sonnenlicht, kosmische Strahlung). Es steht außer Zweifel, daß Lebewesen gelernt haben, den Elektromagnetismus als Informationsübertragungssystem und so als Mittel der Kommunikation zwischen Zellen und Geweben zu benutzen. Laut Popp und Mitarbeitern sind viele biologische Systeme fähig, elektromagnetische Wellen auch des sichtbaren Spektrums auszusenden, zu empfangen und sogar zu speichern [Popp, 1985; Popp et al., 1989; Ho und Popp, 1994].

In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, daß viele gesundheitliche Probleme des Menschen, wie etwa neoplastische, degenerative, Autoimmun-, endokrin-metabolische und neurophysiologische Erkrankungen sich auf der Grundlage des streng reduktionistischen molekularen Paradigmas nicht erschöpfend erklären lassen. Solchen Erkrankungen liegen nämlich nicht einzelne Veränderungen bestimmter Moleküle oder Gene, sondern oftmals kleine subtile Änderungen der genetisch bedingten Krankheitsanfälligkeit zugrunde. Aus dem Zusammenwirken dieser Änderungen mit vielfältigen

Dieser Beitrag enthält überarbeitete Aspekte von Kapitel 7 des Buchs „Homeopathy: A Frontier in Medical Science“ von P. Bellavite und A. Signorini (North Atlantic Books, Berkeley, CA, 1995; Italienische Ausgabe: IPSA-Ed., Palermo).

Umweltfaktoren ergibt sich dann letztlich das Risiko, zu erkranken oder bestimmte Symptome zu entwickeln. Um diesen Krankheiten wirksam begegnen zu können, braucht man also ein Verständnis der *Organisation* der Systeme, die diese *Wechselwirkungen* regeln. Es erweist sich als zunehmend schwierig, allein auf das molekulare Paradigma gestützt, einen in sich geschlossenen Ansatz zu finden, der es ermöglicht, in einer Beschreibung des Wesens von Krankheitsprozessen, wie es sich auf höheren Organisationsebenen des Organismus manifestiert, verschiedene Fachdisziplinen einzubeziehen. Auch wenn es im Prinzip zum Ziel zu führen scheint, so zeigt sich doch, daß das stetige Ansammeln von Hypothesen und Daten bezüglich einzelner Gene und Moleküle uns dem Verständnis komplexer Phänomene des Lebens und damit von Gesundheit und Krankheit nicht näher bringt.

In diesem Bereich wird dem aufkommenden *bioelektromagnetischen Paradigma* wohl noch eine gewichtige Rolle zukommen, denn mit ihm werden grundlegende Formen der Fernkommunikation sowohl auf der intermolekularen als auch auf der supramolekularen Organisationsebene biologischer Systeme neu bewertet werden müssen. Darüber hinaus bedarf es eines biophysikalischen Paradigmas, um Modelle und Hypothesen über die Wirkungsmechanismen bis jenseits der Avogadroschen Zahl verdünnter Arzneien, wie sie von vielen Homöopathen verwendet werden, zu erarbeiten. Bislang gibt es noch keine erschöpfende Erklärung dafür, wie eine Informationsübermittlung von solchen Arzneien zum Körper stattfinden mag. Betrachtet man das System jedoch nach physikalischen und nicht nur nach chemischen Gesichtspunkten, so drängt sich einem die Empfindlichkeit lebender Systeme gegenüber kleinen Energiebeträgen, wie sie durch elektromagnetische Felder transportiert werden, als Schlüssel zu einer solchen Erklärung geradezu auf.

Während der letzten Jahre hat die Erforschung von Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Körper immer mehr an Bedeutung gewonnen und unter Naturwissenschaftlern Anerkennung gefunden. Gleichzeitig hat sich die Aura des Geheimnisvollen, die diese Phänomene umgab, und deren Ausschlichtung durch Scharlatane Vorschub leistete, immer weiter aufgelöst. Das Wiederaufleben des Interesses an den Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Feldern und lebenden Systemen äußert sich in verschiedener Weise, unter anderem:

- a) Es mehren sich Hinweise für die therapeutische Wirksamkeit extrem niedrigfrequenter (ELF) gepulster magnetischer Felder, vor allem in der Orthopädie.
- b) In der Öffentlichkeit hat sich das Bewußtsein verstärkt, daß der technische Fortschritt mit gesundheitlichen Risiken verbunden sein mag. Insbesondere werden die Wirkungen elektromagnetischer Felder, wie sie von Hochspannungsleitungen, Videobildschirmen, diagnostischen Geräten, elektrischen Haushaltsgeräten und anderen Quellen ausgehen, diskutiert.
- c) Das Thema wird zunehmend in experimentellen Studien an zellulären und molekularen Modellen erforscht, und es zeichnen sich hier schon einige mögliche Erklärungen für die Wirkungen niederenergetischer magnetischer Felder ab.

estimmte
können,
ie diese
auf das
n, der es
sich auf
e Fach-
heint, so
bezüglich
s Lebens

ma wohl
nnen der
auf der
werden
delle und
nen Zahl
rden, zu
wie eine
en mag.
emischen
egenüber
werden,

netischer
erwissen-
isvollen,
orschub
Wechsel-
bert sich

extrem
ädie.

ortschritt
irkungen
schirmen,
usgehen,

ren und
mögliche

Die folgende Kurzdarstellung dieses Themenkomplexes soll zu einem besseren Verständnis des aufkommenden biophysikalischen Paradigmas in der Medizin und damit zu einer Erhellung möglicher Zusammenhänge zwischen elektromagnetischen Phänomenen und der Homöopathie beitragen.

Uns liegt sehr daran, zu betonen, daß wir mit dieser Diskussion nicht für uns beanspruchen, das Thema systematisch abgehandelt zu haben. Sie stellt vielmehr einen Versuch dar, viele verschiedene, aus wissenschaftlicher Sicht noch ungeklärte Fragen und Phänomene zu umreißen und zueinander in Beziehung zu setzen.

HAUPTTEIL

Elektromagnetische Felder

Zum besseren Verständnis der grundlegenden Konzepte bioelektromagnetischer Theorien sowie der im folgenden berichteten Forschungsergebnisse wollen wir zunächst kurz die hier verwendeten Termini und Maßeinheiten erklären.

Das Diagramm in Abbildung 1 zeigt verschiedene Arten elektromagnetischer Wellen mit ihren zugehörigen Wellenlängen und Frequenzen.

Die Frequenz eines elektromagnetischen Feldes gibt die Anzahl von Schwingungen, die die elektromagnetische Welle pro Sekunde durchläuft, bzw. die Zahl der Impulse des Feldes pro Sekunde an. Ihre Maßeinheit ist das Hertz (Hz).

Die Wellenlänge λ ist die Entfernung zwischen zwei Wellenspitzen und wird in Metern oder davon abgeleiteten Längeneinheiten gemessen. Bei gegebener Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist offensichtlich die Wellenlänge umso kürzer, je höher die Frequenz ist.

Wie aus der Telekommunikation bekannt, können elektromagnetische Wellen als *Informationsvektoren* dienen. Hierzu wird eine *Trägerwelle* aus einem, je nach Sender- und Empfängersystem gewählten Frequenzbereich verwendet. Diese Trägerwelle wird zur Abbildung der zu übermittelnden Information in bestimmter Weise *moduliert*, d.h. ihre Länge und Amplitude wird geringfügig geändert, indem man sie in veränderlichem Maße als Funktion der Zeit etwas vergrößert bzw. verringert (Frequenz- und Amplitudenmodulation).

Ein auf die Trägerwelle *abgestimmtes* Gerät kann dann diese Modulation wahrnehmen und durch ihre Dekodierung die in ihr enthaltene Information empfangen.

Die *Feldstärke* eines elektrischen Feldes gibt das elektrische Potential zwischen zwei Punkten in Abhängigkeit von deren Entfernung voneinander an und wird in Volt pro Meter (V/m) oder Millivolt pro Zentimeter (mV/cm) gemessen.

Wenn ein biologisches System einem elektrischen Feld ausgesetzt wird, werden die in ihm enthaltenen beweglichen Ladungen in eine vom Feld abhängige Richtung bewegt. Dies bewirkt einen *elektrischen Strom*, dessen Stärke man in Ampere (A) oder hiervon abgeleiteten Dezimaleinheiten angibt.

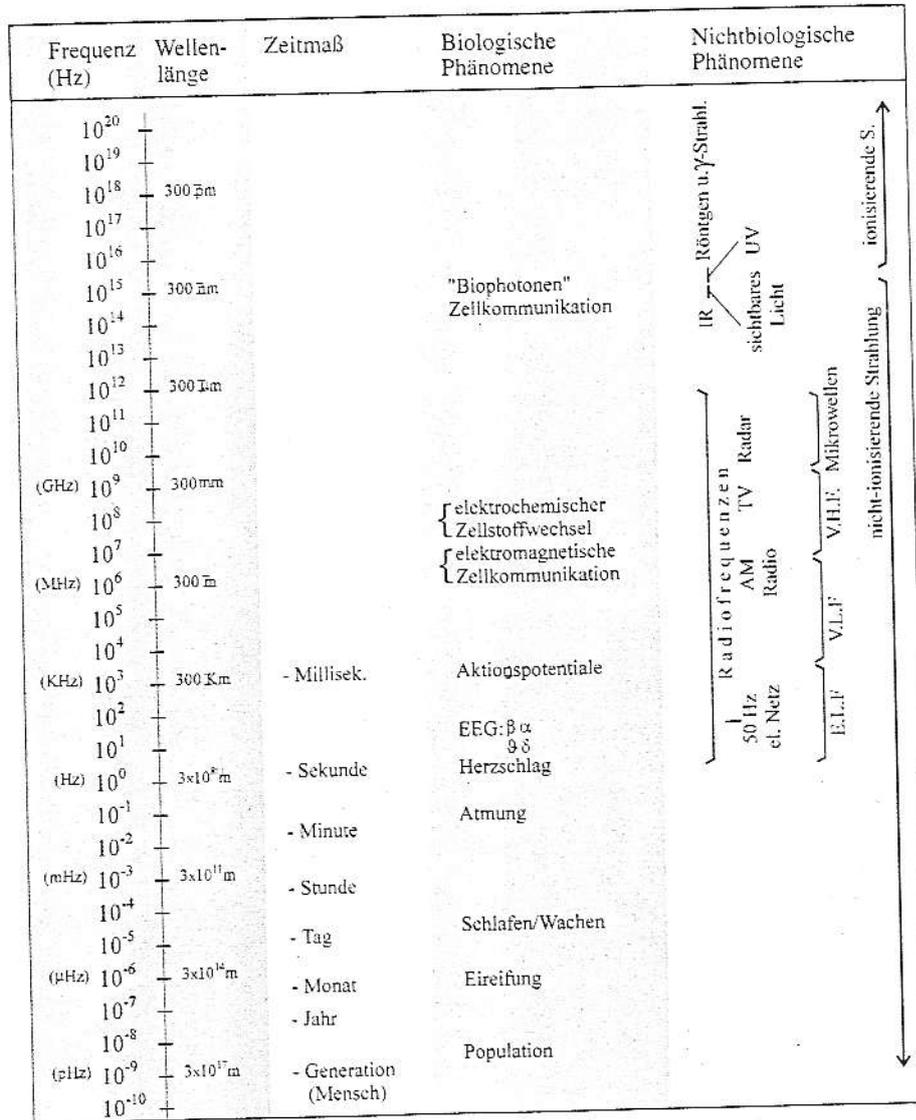


Abb. 1: Elektromagnetische Strahlung verschiedener Wellenlänge und Frequenz, sowie nicht-elektromagnetische biologische Schwingungen. [Anmerkung der Herausgeber: Die Originalabbildung wurde im Gesamtkontext des vorliegenden Buches um die Auflistung der nicht-elektromagnetischen Schwingungen im Bereich 10^{-10} - 10^{-1} Hz sowie um die Spalte „biologische Phänomene“ erweitert.]



Aus der Zahl der Ladungen, die pro Zeiteinheit ein bestimmtes Flächenstück, etwa eines Organs oder Gewebes, durchströmen, ergibt sich die in dieser Fläche herrschende Stromdichte (J). Sie wird in Ampere pro Quadratmeter (A/m^2) oder hiervon abgeleiteten Dezimaleinheiten gemessen.

Nach dem Induktionsgesetz besteht zwischen elektrischen und magnetischen Feldern ein enger Zusammenhang. Wenn ein elektrisch leitender Körper (wie z.B. ein Lebewesen) einem gepulsten Magnetfeld ausgesetzt wird, entsteht in ihm ein senkrecht zur Richtung (zum Vektor) des Magnetfeldes stehendes elektrisches Feld, das in seinem Verlauf von der Oberfläche des Körpers und in seiner Feldstärke von der Frequenz und der Feldstärke des Magnetfeldes abhängt.

Die magnetische Flußdichte wird in Gauß (G) oder, im moderneren SI-System, in Tesla (T) oder hiervon abgeleiteten Dezimaleinheiten gemessen. Folgende zwei Angaben mögen eine Vorstellung von der Größe dieser Einheiten vermitteln: Die Feldstärke des Erdmagnetfeldes liegt zwischen 0,02 und 0,07 mT (0,2 bis 0,7 G), während die in der Diagnostik verwendeten Spin- Magnetresonanstechniken Feldstärken zwischen 0,1 und 10 mT (1 bis 100 G) erreichen [Walleczek, 1992].

Wirkungen auf den Organismus

Im folgenden wollen wir uns mit niederenergetischer Strahlung befassen. Ihre Wirkungsmechanismen unterscheiden sich grundlegend von denen ionisierender Strahlung. Diese bewirkt durch die Ionisierung von Molekülen grobe Veränderungen, wie z.B. Chromosomenschäden oder die Peroxidation von Lipidmembranen. Dagegen reicht die Energie elektromagnetischer Strahlung im Frequenzbereich bis zu einigen hundert GHz nicht aus, um physikochemische Veränderungen dieser Art zu verursachen, sondern höchstens, um thermische Effekte zu erzielen (Erwärmung, was man unter anderem bei Mikrowellenöfen ausnutzt).

Die Wirkungen nichtionisierender elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Körper können sowohl pathologischer Art sein als auch therapeutischen Zwecken dienen. Forschungsergebnisse zu den meistuntersuchten schädlichen Wirkungen sprechen für eine erhöhte Tumorgefährdung bei dieser Art von Strahlungsexposition [Pool, 1990]. Dieses Thema wird kontrovers diskutiert, und das epidemiologische Datenmaterial läßt nur bei einigen Krebsarten bei Kindern (Leukämie) gesicherte Aussagen zu. Therapeutisch werden elektromagnetische Felder vor allem zur Stimulierung der Osteogenese bei Pseudarthrose und verzögerter Frakturheilung eingesetzt [Chiabrera, 1984]. Die pathologischen und therapeutischen Wirkungen elektromagnetischer Felder sind für sich allein schon ein wichtiges, sich rasch entwickelndes Fachgebiet, über das wir an dieser Stelle keine detaillierte Abhandlung geben können. Wir beschränken uns daher auf einen Umriss der grundlegenden molekularen und zellulären Aspekte dieses Phänomens.

Es gibt viele natürliche Quellen elektromagnetischer Felder: Außerhalb des Körpers zählen z.B. das Erdmagnetfeld (das verschiedene Vogel-, Fisch- und Walarten zur Orientierung benutzen), Strahlung aus der Ionosphäre (Schumann-Wellen von 7,8 Hz,

die recht genau mit beobachteten Biorhythmen korrelieren [Ludwig, 1994]) und Strahlung von Sternen im Hochfrequenzbereich sowie von der Sonne (besonders während bestimmter Aktivitätsphasen). Künstliche Quellen in unserer Umwelt sind zum Beispiel Telekommunikations- und Radarsysteme sowie Hochspannungsleitungen. Auch innerhalb des Körpers gibt es viele Quellen elektromagnetischer Strahlung, so z.B. die elektrische Aktivität des Hirns (z.B. des Hippocampus bei 7,8 Hz), des peripheren Nervensystems und der Muskeln, die zur Erkennung im Dunkeln und zur Verteidigung dienenden feldgenerierenden Seitenliniensysteme einiger Fischarten und analoge Systeme anderer mariner Organismen oder die Lichtaussendung von Zellen wie z.B. von Leukozyten (Chemilumineszenz).

Praktisch alle Organismen emittieren Licht. Die Emissionsrate kann dabei zwischen wenigen Photonen pro Zelle pro Tag und einigen hundert Photonen pro Organismus und Sekunde liegen. Von dieser sogenannten Biophotonenemission zu unterscheiden sind die Chemilumineszenz von Leukozyten sowie die von Glühwürmchen bekannte Biolumineszenz, die beide von der Aktivität bestimmter Organellen herrühren. Für die Biophotonen-emission sind eine sehr geringe Intensität und ihr ubiquitäres Auftreten kennzeichnend. Man sieht in ihr eine Art Fernkommunikation, die für die Synchronizität und Kohärenz von Vorgängen innerhalb des Organismus verantwortlich ist. [Eine Übersicht über das Thema geben Ho und Popp, 1994]. Die interessantesten Aspekte der Biolumineszenz werden im Beitrag zur Biophotonentheorie von Bischof in diesem Band besprochen.

Das Elektrokardiogramm und das Elektroenzephalogramm beruhen auf Verfahren, bei denen man nichts weiter als die elektrische Aktivität des Herzens bzw. des zentralen Nervensystems mißt. Auch Knochen sind elektrisch aktiv, nämlich bei ihrer elastischen Verformung. Diese Aktivität ist piezoelektrischer Natur und scheint für die Ausrichtung des Wachstums der Knochenbälkchen entlang der Kraftlinien von Bedeutung zu sein. Eine der ersten klinischen Anwendungen schwacher magnetischer Felder war gerade die Induktion der Knochenbildung bei Fraktur [Bassett et al., 1974].

Tierische Organismen haben eine außerordentlich hohe Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Wellen entwickelt. Es sei hier nur auf das naheliegende Beispiel der hohen Lichtempfindlichkeit des Auges verwiesen, die schon die Wahrnehmung einiger weniger Photonen ermöglicht.

Das Konzept der „Empfindlichkeit“ elektromagnetische Felder: Empfindlichkeit gegenüber Perturbationen elektromagnetischer Felder verdeutlichen Experimente von Smith und Monro [Smith et al., 1985; Smith, 1988; Smith 1989; Smith, 1994]. Diese Forscher berichten von einer Reihe von Experimenten, die sie zusammen mit Allergologen in London und Dallas durchführten. Bei Patienten mit erwiesener Überempfindlichkeit gegenüber vielen verschiedenen Stoffen gelang es ihnen, allergische Reaktionen hervorzurufen, indem sie einfach elektromagnetische Strahlungsquellen in die unmittelbare Nähe der Patienten brachten. Die allergischen Symptome traten oft innerhalb ganz bestimmter Frequenzbanden auf, die je nach Patient im Bereich zwischen ein paar mHz und vielen MHz lagen. Entscheidend für die

4]) und
esonders
sind zum
eitungen.
ilung, so
Hz), des
und zur
arten und
ellen wie

zwischen
mus und
den sind
bekannte
. Für die
Auftreten
für die
wortlich
antesten
ischof in

hren, bei
zentralen
astischen
richtung
zu sein,
r gerade

gegenüber
Beispiel
nehmung

dllichkeit
nte von
]. Diese
nen mit
wiesener
ihnen,
netische
rgischen
h Patient
für die

Reaktion war hier weniger die vom Oszillator ausgehende Feldstärke (einige V/m) als die *Frequenz* und die *Korrelation bzw. Kohärenz* (siehe den Beitrag von Ho).

Neben der von den Forschern aufgezeigten Möglichkeit, mittels elektromagnetischer Wellen allergische Reaktionen auszulösen, war auch interessant, daß die gegenüber dieser Art der Stimulierung empfindlichen Patienten bei entsprechenden chemisch provozierten allergischen Reaktionen ihrerseits elektromagnetische Signale aussandten. [Smith, persönliche Mitteilung].

Man hat gezeigt, daß verschiedene Fischarten in der Lage sind, elektrische Felder bis hinunter zu Feldstärken von 0,000001 V/m wahrzunehmen und darauf zu reagieren [Bullock, 1977]. Dies entspricht etwa der höchsten Empfindlichkeit, die man in der vorgenannten Arbeit bei allergischen Patienten fand. Nach Smith könnte es dieser Grad von Empfindlichkeit den Fischen ermöglichen, über weite Entfernungen Nahrungsquellen zu orten. Zum Beispiel hat man festgestellt, daß lebende Zellen, wie etwa die Hefe, elektromagnetische Wellen im Hochfrequenzbereich mit einer Feldstärke von ca. 0,1 V/m aussenden [Smith, 1988; Pollock und Pohl, 1988].

Im Verlauf der allergometrischen Untersuchungen der Gruppe der hyperreaktiven Patienten stellte sich heraus, daß allergische Reaktionen, die mit chemischen Agenzien ausgelöst worden waren, sich neutralisieren ließen, indem man die Patienten ganz bestimmten Frequenzen aussetzte. Behandelte man reines Wasser mit diesen Frequenzen, so gingen deren therapeutisch neutralisierende Wirkungen auf das Wasser über. Setzte man dagegen das Wasser Frequenzen aus, die allergische Reaktionen hervorriefen, so gingen die allergenen Eigenschaften auf das Wasser über. Von entsprechenden Experimenten an Amphibien wird im Beitrag von Endler et al. in diesem Band berichtet. Die Behandlung des Wassers erfolgte, indem man wassergefüllte Reagenzgläser in eine Zylinder- oder Ringspule steckte, die an einen Oszillator angeschlossen war. Die Veränderung des Wassers, die ihm seine allergene Wirkung gegenüber hyperreaktiven Patienten verlieh, dauerte ein bis zwei Monate an. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß die Wirksamkeit in reinem Wasser gelöster homöopathischer Arzneien gewöhnlich kurzlebig, nämlich nur wenige Monate ist. Der Vorteil der von Hahnemann eingeführten Wasser-/Alkohollösungen liegt gerade in ihrer größeren Stabilität und jahrelangen Wirksamkeit.

Auch wenn nur ein kleiner Anteil der allergischen Patienten die für den Erfolg der Untersuchungen erforderliche extreme Empfindlichkeit besaß, bleibt als äußerst interessantes und bedeutsames Ergebnis, sofern es sich als reproduzierbar erweist, daß Wasser offenbar elektromagnetische Information aufzunehmen und an entsprechend prädisponierte Personen weiterzugeben vermag. Über verwandte Versuche von Endler et al. im Rahmen einer multizentrischen Studie wird in diesem Band ausführlich berichtet. In diesen Versuchen wurden Amphibienlarven homöopathisch hergestellten Verdünnungen in der Weise ausgesetzt, daß die Flüssigkeiten (also auch die Wasserkontrollen) in Glasphiolen gegeben wurden, die anschließend versiegelt und in das die Larven enthaltende Beckenwasser gehängt wurden. Sowohl bei dieser Versuchsanordnung als auch bei direktem Pipettieren der

Flüssigkeiten ins Beckenwasser ergaben sich hochsignifikante Wirkungen auf die Metamorphosegeschwindigkeit der Larven. Die Autoren berichten auch von Ergebnissen, wonach sich molekulare Information durch ein elektronisches Gerät übermitteln und auf Datenträgern speichern läßt. Dies scheint ein stichhaltiges Argument dafür zu sein, daß eine metamolekulare Information existiert und in wässrigen Flüssigkeiten enthalten sein kann.

Hier liegt sicher noch ein weites Feld für weitere Forschungen, v.a. auch hinsichtlich erfahrungsheilkundlicher Methoden.

An dieser Stelle ist auch auf die Arbeiten von Adey [1989-1990] hinzuweisen, wonach es für jede Frequenz bestimmte organismusspezifische „Strahlungsleistungsfenster“ gibt. Ein Signal kann nur dann mit einem gegebenen Organismus interagieren, wenn es oberhalb einer gewissen Minimalstärke, jedoch unterhalb der Übersteuerungsgrenze liegt.

Zelluläre Wirkungen

Es ist wohlbekannt, daß elektromagnetische Strahlung gravierende Veränderungen auf der zellulären Ebene bewirken kann. Bis vor nicht allzu langer Zeit lag das Hauptaugenmerk entsprechender Untersuchungen auf den potentiell toxischen Wirkungen mittel- bis hochenergetischer Strahlung, wie z.B. Röntgen-, Gamma-, und UV-Strahlung. Wie schon erwähnt, hat die Erforschung der Mechanismen biologischer Wirkungen nichtionisierender Strahlung erst vor kurzem begonnen (siehe Abb. 1).

Man weiß, daß elektromagnetische Wellen, auch niederenergetische und langwellige, beim Auftreffen auf biologische Materie Wärme erzeugen. Die Frage, ob Wellen im Millimeterbereich außer Wärmeabsorption noch andere, also nichtthermische Wirkungen hervorrufen, ist Gegenstand langer wissenschaftlicher Debatten. Die Kontroverse über die Möglichkeit zellulärer Reaktionen auf niederenergetische Wellen ist zum einen auf den Umstand zurückzuführen, daß sich viele Experimente als schwer reproduzierbar erwiesen haben, und zum anderen auf den theoretischen Einwand, daß die von solch schwachen Feldern freigesetzte Energie schwächer wäre als die des Hintergrundrauschens, dem die Zellen durch die Umgebungstemperatur ausgesetzt sind (*thermisches Rauschen*)thermisches Rauschen. Wenn exogene magnetische Felder eine Wirkung auf lebende Systeme haben sollen, dann müssen sie wesentlich stärkere Veränderungen bewirken, als diese Systeme ab einer gewissen Temperatur bereits im Ruhezustand erfahren (z.B. durch das fortwährende Öffnen und Schließen von Ionenkanälen, periodische Änderungen des Membranpotentials, diverse Stoffwechselvorgänge usw.). Inzwischen ist die Existenz nichtthermischer Effekte schwacher elektromagnetischer Felder an vielen verschiedenen Versuchsmodellen nachgewiesen worden und kann als allgemein anerkannt gelten [Kremer et al., 1988; Aldrich und Easterly, 1987; Magnavita, 1989; Tsong, 1989].

Ein wichtiger Beitrag zu diesem Thema findet sich in einer kritischen Studie, die in Science publiziert wurde [Weaver und Astumian, 1990]. Diese Autoren haben physikalische Modelle vorgeschlagen, wonach man Zellen als Detektoren sehr schwacher magnetischer Felder auffassen kann. Es zeigt sich hierbei ein Zusammenhang zwischen

gen auf die
auch von
ches Gerät
tichhaltiges
ert und in

hinsichtlich

en, wonach
ngsfenster“
n, wenn es
ungsgrenze

rungen auf
auptaugen-
gen mittel-
lung. Wie
Wirkungen

ngswellige,
Wellen im
thermische
atten. Die
he Wellen
als schwer
wand, daß
is die des
esetzt sind
elder eine
i stärkere
bereits im
eßen von
se Stoff-
Effekte
smodellen
al., 1988;

lie, die in
physika-
chwacher
zwischen

der Größe der Zelle und Änderungen des Membranpotentials infolge von Temperaturschwankungen und der Gegenwart eines elektromagnetischen Feldes. Nach der einfachsten Version des Modells ergibt sich für die Membranmakromoleküle ein Empfindlichkeitsbereich bis hinunter zu 10^{-3} V/cm. Berücksichtigt man jedoch mit dem Modell auch die Möglichkeit von „Frequenzfenstern“, also von Frequenzbanden, auf die sich das Auftreten bestimmter Reaktionen beschränkt, so ergibt sich theoretisch eine um mehrere Zehnerpotenzen geringere Mindestfeldstärke (10^{-6} V/cm), die damit knapp bis an die Werte herabreicht, die in verschiedenen Versuchen an Tieren und Zellen ermittelt wurden.

Das Wachstum von Nervenfortsätzen wird von schwachen elektrischen Strömen gesteuert [Alberts et al., 1989]. Beim Längenwachstum eines Nervenfortsatzes im Kulturmedium oder auch im Bindegewebe bildet sich an seiner Spitze ein sogenannter Wachstumskegel, der als Proliferationszone der zahlreichen von ihm ausgehenden langen Filamente (Filopodien) zu fungieren scheint. Diese fingerartigen Fortsätze befinden sich ständig in langsamer amöboider Bewegung; Während einige sich zurückziehen, strecken sich andere wieder aus, so als würden sie das umgebende Terrain erkunden. Jedes Filopodium enthält zahlreiche Aktinfilamente. Aus den Bewegungen des Wachstumskegels ergibt sich mit der Zeit eine Netto-Ortsveränderung in eine ganz bestimmte Richtung und damit ein Längenwachstum der Nervenfasern (mit einer geschätzten Geschwindigkeit von 1 mm pro Tag). Die Bewegungsrichtung hängt von verschiedenen lokalen Faktoren ab, wie z.B. der Orientierung der Fasern der Bindegewebsmatrix, der die Nervenfasern im allgemeinen folgen, und von speziellen Membranerkennungssystemen zwischen benachbarten Zellen. Die Nervenzellen können jedoch auch stark durch elektromagnetische Felder beeinflusst werden: Bei niederenergetischen Feldern (70 mV/cm) orientieren sich die Wachstumskegel von Neuronen *in vitro* zur negativen Elektrode hin und wachsen auf sie zu.

Zellen können Lichtsignale empfangen und verarbeiten und sie nach Frequenz und Richtung unterscheiden. Dieser wurde für Infrarotlicht unter Verwendung eines speziell ausgerüsteten Phasenkontrastmikroskops nachgewiesen [Albrecht-Buehler, 1991]. Im Kulturmedium bewegen Fibroblasten ihre Filopodien bevorzugt zum Licht hin. Dieser Effekt hat sich bei einer mit 30-60mal/s pulsierenden Lichtquelle von 800-900 nm Wellenlänge als am stärksten erwiesen. Nach Angaben des berichtenden Autors ist der verantwortliche Lichtrezeptor der Zellen das Zentrosom. Es gibt auch Hinweise dafür, daß die Teilungsaktivität von Zellen durch sehr schwache elektromagnetische Felder im Bereich von 0,2 - 20 mT bzw. 0,02 - 1,0 mV/cm beeinflusst werden kann [Luben et al., 1982; Conti et al., 1983; Cadossi et al., 1992; Walleczek, 1992].

Es ist gut, sich im klaren darüber zu sein, daß anhand der derzeit verfügbaren Daten in der Literatur noch kein abschließendes Urteil über die positiven und negativen sowie stimulierenden und inhibitorischen Wirkungen schwacher elektromagnetischer Felder möglich ist, vor allem auch nicht in bezug auf die Dosierung und die Art der Verabreichung bei medizinischen Anwendungen [Walleczek, 1992]. Zum Beispiel können sich bioaktive elektromagnetische Signale in ihrer Stärke, Frequenz, Dauer und

Wellenform (Sinus-, Rechteck- oder Sägezahnform) beträchtlich unterscheiden. Außerdem kann die Wirkung vom Zustand der betreffenden Zelle abhängen [Cossarizza et al., 1989; Walleczek und Liburdy, 1990]. Es scheint also, daß die Wirkungsmechanismen auf äußerst komplizierten Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Faktoren beruhen.

Viele Enzyme und Rezeptoren scheinen auf physikalische Reize ebenso anzusprechen wie auf chemische [Adey, 1988; Tsong, 1989; Popp et al., 1989]. Aufgrund ihrer bioelektrischen Eigenschaften darf die Zellmembran als wahrscheinlichster Ort der primären Wirkung physikalischer Reize gelten [Kell, 1988], doch kommen hierfür auch aus repetitiven Einheiten bestehende Makromoleküle, wie z.B. Nukleinsäuren [Popp, 1985] oder die Proteine des Zytoskeletts, vor allem die Mikrotubuli [Hameroff, 1988] in Frage.

Die biologischen Grundlagen der Wirkungen magnetischer Felder auf Zellen sind äußerst komplex und können hier nicht erschöpfend analysiert werden. Die lebende Zelle stellt ein elektrochemisches System dar, das durch ein Membranpotential (innen negativ) und eine enorme Vielzahl negativ und positiv geladener Proteine gekennzeichnet ist. Nach dem Modell des flüssigen Mosaiks (welches zumindest in seinen Grundzügen immer noch Gültigkeit besitzt), sind die Membranproteine einer Zelle im Ruhezustand gleichmäßig über die Membran verteilt. In Gegenwart eines die Membran durchquerenden elektromagnetischen Feldes wandern sie per Elektrophorese auf der Membran, und zwar je nach Nettoladung in Richtung auf einen der beiden Pole, die die Zelle unter diesen Bedingungen trägt. Bei einem Elektronen- oder Ionenstrom in eine Zelle hinein kommt es auch zu elektrischen Strömen entlang ihrer Oberfläche, und dies bewirkt eine Wanderung der (netto-)geladenen Membranproteine auf der Membran.

Eine solche Neuordnung von Proteinen auf der Zellmembran bleibt nicht ohne Wirkung, denn sie begünstigt den Kontakt zwischen benachbarten Proteinen und verzögert den Kontakt zwischen weiter voneinander entfernten [Chiabrera et al., 1984]. Damit Rezeptoren und Membrantransportsysteme funktionieren können, müssen bestimmte Proteine aggregieren oder zumindest in Berührung treten. In Anbetracht dessen kann man sich die Auswirkungen eines elektrischen Feldes auf die Aktivität einer Zelle lebhaft vorstellen. Zu einer Aggregation kommt es normalerweise infolge eines chemischen Signals, indem das Signalmolekül als Brücke zwischen zwei oder mehreren sich frei auf der Membran bewegendem Rezeptoren fungiert. Natürlich ist diese Modellvorstellung eine grobe Vereinfachung des tatsächlichen Geschehens, wo auch Calcium, Magnesium-, Natrium-, Kalium-, und Wasserstoffionenkonzentrationen und auch mögliche direkte Wirkungen des Magnetfeldes auf Enzyme, Rezeptoren und das Zytoskelett mit ins Spiel kommen.

An der ca. 4 nm dicken Lipid-Doppelmembran herrscht eine Potentialdifferenz von einigen zehn bis etwa 100 mV, mithin ein elektrischer Gradient in der Größenordnung von 10^5 V/cm. Theoretisch sollte dieser Gradient eine wirkungsvolle Barriere gegen die durch niederenergetische elektromagnetische Felder an der Zellmembran verursachten minimalen Perturbationen darstellen. Anders ausgedrückt, sollte die natürliche

len. Außer-
rizza et al.,
echanismen
Faktoren

zusprechen
ihrer bio-
rt der pri-
erfür auch
ren [Popp,
f, 1988] in

ellen sind
ie lebende
tial (innen
e gekenn-
in seinen
r Zelle im
Membran
se auf der
le, die die
m in eine
, und dies
bran.

icht ohne
inen und
al., 1984].
müssen
nbetracht
Aktivität
e infolge
wei oder
ürlich ist
hens, wo
trationen
oren und

renz von
ordnung
egen die
rsachten
atürliche

elektrische Aktivität an der Membran eine Art „Hintergrundrauschen“ hervorrufen, das es der Zelle unmöglich machen sollte, minimale Potentialänderungen wahrzunehmen. Allermeueste Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß elektromagnetische Felder, die um einige Größenordnungen schwächer sind als der elektrische Gradient an der Membran, in der Lage sind, die Wirkungen von Hormonen, Antikörpern und Neurotransmittern an Rezeptoren und Transportsystemen zu verändern. Dies spricht für das Wirken *hochsynergistischer* Prozesse, von Prozessen also, bei denen minimale Veränderungen sich gegenseitig verstärken und so gravierende Wirkungen hervorrufen. Der zugrundeliegende Effekt ist der gleiche, durch den eine im Gleichschritt marschierende Truppe eine Brücke zum Schwingen bringen oder durch den eine Glasscheibe bei Resonanz bersten kann.

Für den ELF-Bereich (extremely low frequency) liegt die Empfindlichkeitsschwelle, ab der eine elektromagnetische Modulation biologischer Prozesse stattfinden kann, in der Größenordnung von 10^{-7} V/cm. Die elektrische Aktivität, der man sich beim EEG bedient, liegt dagegen zum Beispiel bei 10^{-1} bis 10^{-2} V/cm [Adey, 1988]. Die Tatsache, daß viele dieser Wechselwirkungen frequenzabhängig sind, d.h. nur innerhalb gewisser Frequenzbereiche auftreten, spricht dafür, daß es sich hierbei um nichtlineare, gleichgewichtsferne Regelsysteme handelt [Adey, 1988; Weaver und Astumian, 1990; Yost und Liburdy, 1992]. Da man bei den verschiedensten Geweben und Zellarten einen ähnlichen Grad von Empfindlichkeit festgestellt hat, scheint es, als hätten wir es hier mit einer grundlegenden, für alle lebenden Zellen charakteristischen Eigenschaft zu tun. Analog hierzu werden auch „Feldstärke-Fenster“ postuliert [Adey, 1988-1990].

Molekulare Wirkungen

Von vielen molekularen Bausteinen mit Rezeptor-, Struktur- oder enzymatischer Funktion ist eine Empfindlichkeit gegenüber sich ändernden schwachen elektromagnetischen Feldern bekannt: Photorezeptoren [Alberts et al., 1989], Chlorophyll [Alberts et al., 1989], Rezeptoren mit 7 Transmembrandomänen [Bistolfi, 1989], G-Proteine [Adey, 1988], cAMP-abhängige Proteinkinasen [Byus et al., 1984], Proteinkinase C [Adey, 1988], Lysozym [Shaya und Smith, 1977], Rezeptoren (Aggregation) [Chiabrera, 1984], Chromosomen [Kremer et al., 1988], Protein- und Biopolymere [Hasted, 1988] und Na^+/K^+ -ATPase [Liu et al., 1990]. Im folgenden werden einige an diesen Molekülsystemen erhobene Daten wiedergegeben.

Die meisten Proteine sind durch die Möglichkeit verschiedener Kombinationen von Disulfid- und Wasserstoffbrückenbindungen und hydrophoben Wechselwirkungen in der Lage, zwischen verschiedenen Konformationen hin- und herzuwechseln. Der Übergang von einer Konformation zur anderen wird dabei durch nichtlineare Veränderungen und Sprünge über Energiebarrieren ermöglicht. Proteine sind demnach dynamische, vibrierende Strukturen, deren Komponenten andauernden Schwingungen mit Perioden im Bereich zwischen Femtosekunden (10^{-15} s) und einigen Minuten unterliegen. Von größter Bedeutung sind wohl für biologische Systeme die Schwingungen, deren Perioden im Bereich von Nanosekunden liegen [Hameroff, 1988]. In diesem Zusammenhang spielt auch der Umstand, daß viele Proteine (und auch

21

Moleküle anderer Stoffklassen, wie z.B. Lipide) in vivo multimer oder polymer vorliegen, eine sehr wichtige Rolle. In solchen Strukturen kann es leicht zu kooperativen oder kollektiven Wechselwirkungen in der Weise kommen, daß die Schwingungen sich *kohärent* fortpflanzen und somit prinzipiell auch biologische Information übermitteln können [Fröhlich, 1988; del Guidice et al., 1988b; Bistolfi, 1989; Smith 1990; Ludwig, 1994; siehe den Beitrag von Ho].

Sowohl die chemischen als auch die elektromagnetischen Signale, die von außen auf die Zelle auftreffen, werden durch Konformationsänderungen oder Schwingungen von Transmembranproteinen (Proteinen mit membrandurchspannenden Anteilen) nach innen fortgeleitet. Man hat behauptet, daß bei dieser Signalfortleitung Helix- und Faltblattstrukturen eine entscheidende Rolle zukommt [Bistolfi, 1989; Meissner, zitiert nach Ludwig, 1994]. Solche Strukturen sind durch einen hohen Grad an Ordnung sowie durch sich wiederholende Sequenzen gekennzeichnet. Sie werden durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen einander in parallelen Strängen gegenüberliegenden Aminosäureresten stabilisiert. Bei Wechselwirkungen mit elektromagnetischen Feldern können diese Proteinstrukturen im allgemeinen nichtlineare, resonante Schwingungsmuster erzeugen.

Der Prototyp dieser Rezeptorart ist das Rhodopsin, das Lichtrezeptor-Protein der Retina, dessen sieben α -Helices in räumlich wohlgeordneter Weise die Membran durchspannen. Bei dieser Art von Transportrezeptoren ist die photonenvermittelte Anregung des Moleküls an den Transport eines Protons gekoppelt, wodurch das Membranpotential stabilisiert wird.

Diese Struktur aus 7 membrandurchspannenden α -Helices ist charakteristisch für eine große Familie von Glykoproteinen, die alle an G-Protein-gekoppelten Membrantransportsystemen beteiligt sind: die β -adrenergen Rezeptoren, die muscarinartigen Acetylcholinrezeptoren, verschiedene Neuropeptidrezeptoren, die Rezeptoren weißer Blutkörperchen, die an spezielle Liganden anderer Zellen binden, und auch die bei der replikativen Fusion von Hefezellen aktiven gegenseitigen Erkennungssysteme [Alberts et al., 1989]. Es ist daher wahrscheinlich, daß durch diese charakteristische Struktur das ihr übergeordnete Transportsystem elektromagnetisch beeinflussbar wird.

Diese Vermutung wird durch Studien über den Einfluß elektromagnetischer Wellen auf die Kollagenproduktion von Osteoblasten gestützt. Es wurde gezeigt, daß Parathyrin an membranständigen Rezeptoren der Osteoblasten binden und dort durch Vermittlung eines G-Proteins das Enzym Adenylcyclase aktivieren kann. Durch Anlegen eines elektromagnetischen Feldes von 72 Hz und einer Feldstärke von 1,3 mV/cm wurde die Adenylcyclase in ihrer Aktivität um 90% gehemmt, ohne daß die Hormonbindung an den Rezeptor oder die Enzymfunktion selbst gestört gewesen wäre. Hieraus schloß man, daß die hemmende Wirkung auf eine Blockierung des G-Proteins zurückzuführen sei [Adey, 1988].

Cyclisches Amino-Monophosphat (cAMP) hat gegenüber vielen Enzymen eine wichtige Kontrollfunktion, die vor allem durch die Aktivierung von Proteinkinasen (Protein- phosphorylierenden Enzymen) infolge einer Erhöhung des intrazellulären

der polymer
s leicht zu
en, daß die
biologische
8b; Bistolfi,

ußen auf die
ungen von
eilen) nach
Helix- und
smer, zitiert
nung sowie
ch Wasser-
erliegenden
hen Feldern
hwingungs-

Protein der
Membran
vermittelte
odurch das

ch für eine
nbrantrans-
gen Acetyl-
en weißer
die bei der
e [Alberts
struktur das

Wellen auf
rathyrin an
ermittlung
egen eines
wurde die
indung an
hloß man,
führen sei

men eine
inkinasen
zellulären

cAMP-Spiegels vermittelt wird. Unter wohlkontrollierten Versuchsbedingungen hat man die cAMP-abhängige Proteinkinase menschlicher Lymphozyten durch zeitlich genau bemessene Dosen elektromagnetischer Wellen bestimmter Frequenz (450 MHz, 16 Hz-Amplitudenmoduliert) inhibieren können. Auch die Proteinkinase C, deren Beteiligung an wichtigen zellulären Prozessen wie auch an der Karzinogenese inzwischen außer Zweifel steht, hat man durch elektromagnetische Wellen beeinflussen können [Daten von Byus, zitiert nach Adey, 1988].

Die katalytische Aktivität des Enzyms Lysozym ist durch elektromagnetische Wellen beeinflussbar (Hochfrequenzen im Bereich von 0,1 bis 150 MHz) [Šhaya und Smith, 1977]. In diesen Versuchen wurden Lysozymbiosungen in Gegenwart submaximaler Dosen des kompetitiven Inhibitors N-Acetylglucosamin (NAG) verschiedenen elektromagnetischen Frequenzen ausgesetzt, die von einer Spule erzeugt wurden, die um den die Lösung enthaltenden Polykarbonatbehälter gewickelt war. Als hauptsächliche Wirkung wurde eine Veränderung der NAG-Hemmung beobachtet. Interessanterweise wurde die Hemmwirkung durch manche Frequenzen verstärkt (z.B. 40 MHz), durch andere bis hin zur völligen Aufhebung abgeschwächt (z.B. 100 MHz) und durch andere wiederum überhaupt nicht beeinflusst. Als Funktion der Frequenz zeigte die Wirkung des elektromagnetischen Feldes auf die Enzymaktivität abwechselnd Inhibitions- und Stimulationsmaxima, die aber im übrigen keinen erkennbaren Mustern folgten. Bei weiteren Messungen zwischen 30 MHz und 50 MHz zeigten sich nochmals feiner abgestufte Wirkungsunterschiede. Als Funktion der Frequenz verläuft die Enzymfunktion offenbar chaotisch, läßt allerdings auch fraktale Muster erkennen.

Tsong und seine Mitarbeiter [Tsong, 1989; Liu et al., 1990] haben die Vorstellung entwickelt, daß Zellen neben den wohlbekannten langsamen, kurzreichweitigen Prozessen interzellulärer Kommunikation, wie z.B. Rezeptor-Ligand-Interaktionen, auch schnelle, langreichweitige Kommunikationsprozesse benötigen. Dementsprechend wurde postuliert, daß die ganze Vielfalt lebensnotwendiger biochemischer Reaktionen auch durch physikalische Kräfte reguliert wird. Nimmt man als gegeben an, daß schwache elektromagnetische Wechselfelder diverse zelluläre Funktionen hemmen bzw. anregen können, und bedenkt man, daß es aus Gründen der Thermodynamik hierzu Mechanismen der Signalverstärkung bedarf, so liegt es nahe, die Zellmembran als einen möglichen Ort der Verstärkung anzusehen.

Die von Tsong und seiner Gruppe durchgeführten Versuche liefern Hinweise dafür, daß ein schwaches elektromagnetisches Feld von 20 mV/cm nur dann in der Lage ist, die Na^+/K^+ -abhängige ATPase zu stimulieren, wenn bestimmte Frequenzen gleichzeitig verwendet werden, nämlich 1 kHz für die K^+ - und 1 MHz für die Na^+ -Pumpfunktion. Diese Ergebnisse haben zur Formulierung des Konzepts der elektromagnetischen Kopplung geführt. Nach diesem Modell erfährt ein Enzymprotein bei Coulomb-Wechselwirkungen mit einem elektrischen Feld (oder jeder anderen Art von oszillierendem Kraftfeld, mit der es interagieren kann) eine Änderung seiner Konformation. Sobald die Frequenz des elektrischen Feldes einen der charakteristischen Kinetik der konformationsändernden Reaktion entsprechenden Wert erreicht hat, fängt das Enzym

an, zwischen seinen verschiedenen Konformationen zu oszillieren. Bei optimaler Feldstärke werden die erreichten Konformationen funktionstüchtig, und durch die Schwingungen der betreffende Prozeß, z.B. der Austausch von Na^+ gegen K^+ , durchgeführt.

Wie von der Gruppe um Kremer in einer langen Reihe von Studien gezeigt wurde, können elektromagnetische Einflüsse die Organisation der DNA in den Chromosomen verändern [Kremer et al, 1988]. Als Modell verwendeten die Autoren Riesenchromosomen von Insekten (Larven von *Acrisotopus lucidus*), da dieses Material mikroskopisch gut sichtbar ist. Man weiß genau, daß sich Chromosomen (kompakte, stabförmige Gebilde aus tausenden von Genen, die durch ihre Verpackung mit Histonproteinen stabilisiert sind) vor der Transkription der genetischen Information von der DNA auf die RNA teilweise entspiralisieren, indem sich an den betreffenden Stellen des Stabs sogenannte „Puffs“, Ringwulste aus aufgelockertem genetischem Material, bilden. Durch Bestrahlung der Chromosomen mit Frequenzen im Bereich von 40 bis 80 GHz bei einem Output von nur 6 mW/cm^2 läßt sich die Puffbildung im Sinne einer Verkleinerung der Puffs stark und signifikant hemmen. Daß dieser Effekt nicht thermischer Art ist, wurde durch zahlreiche Kontrolleexperimente nachgewiesen. An dieser Stelle ist erwähnenswert, daß auch die makromolekulare Organisation von DNA und RNA durch sehr viele Wasserstoffbrückenbindungen gekennzeichnet ist. In diesem Fall binden sie komplementäre Nukleinbasen aneinander und liefern damit eine Struktur, die ebenfalls Resonanzphänomene begünstigen dürfte.

In diesem recht neuen Forschungsgebiet bedarf noch vieles der Klärung. Jegliche Schlüsse, die schon jetzt gezogen werden, vor allem bezüglich therapeutischer Anwendungen, sollte man als vorläufig und hypothetisch betrachten. In diesem Sinne erlaubt uns der gegenwärtige Wissensstand die Hypothese, daß das hier in Ansätzen beschriebene biophysikalische Kommunikationsnetz zusammen mit der bekannten hohen Empfindlichkeit komplexer bzw. chaotischer Systeme gegenüber kleinen Perturbationen das physiologische Substrat bilden könnte für Wechselwirkungen zwischen dem Körper und der in niedrig dosierten oder hochverdünnten Arzneien und möglicherweise auch in niederenergetischen elektromagnetischen Feldern enthaltenen Information.

ANMERKUNGEN der Herausgeber:

1. Dazu H.J. Klima: „Die außergewöhnlichen dielektrischen Eigenschaften der Biomaterie bilden den eigentlichen Grund, weswegen longitudinale elektromagnetische Schwingungen in Biomaterie vermutet werden. Als Träger dieser kohärenten longitudinalen Schwingungen kommen makromolekulare Prozesse mit Ionen, ganze Zellen, Resonanzen aus Makromolekülen und Zellen, nichtlokalisierte Elektronen, usw. in Frage. Beispielsweise können in der Zellmembran positive und negative Teile gegeneinander schwingen und so oszillierende Dipole bilden. Die zahlreichen Wasserstoffbrücken in Makromolekülen sind ein weiteres Beispiel dazu“. (H.J. Klima in I.Engler- Hrsg. - Wasser. 1989, S.254).

2. Auch wenn man bezüglich therapeutischer Anwendungen vieles als vorläufig und hypothetisch bezeichnen muß, ist es doch Aufgabe wissenschaftlichen Forschens, nach Erklärungen für die vorliegenden Werte aus der Erfahrungsheilkunde zu suchen.

malen Feld-
e Schwing-
eführt.

eigt wurde,
romosomen
achromoso-
roskopisch
stabförmige
onproteinen
r DNA auf
des Stabs
al, bilden.
is 80 GHz
inne einer
ffekt nicht
viesen. An
von DNA
In diesem
damit eine

Jegliche
apeutischer
sem Sinne
Ansätzen
bekanntem
r kleinen
wirkungen
neien und
enthaltene

bilden den
fe vermutet
re Prozesse
onen, usw.
einander
molekülen

ypothetisch
en für die

LITERATUR

- Adey W.R. Physiological signalling across cell membranes and cooperative influences of extremely low frequency electromagnetic fields. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988:148.
- Adey W.R. Collective Properties of Cell Membranes. In: *Resonance and Other Interactions of Electromagnetic Fields with living Systems*. Proc. Symp. 1989. Royal Swedish Academy of Science 1989.
- Adey W.R. Electromagnetic fields and the essence of living systems. In: Anderson J.B. (Hrsg.). *Modern Radio Science*. University Press/ URSI, Oxford 1990:1-36.
- Alberts, B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J.D. *Molecular Biology of the Cell*. 2nd edition. Garland Publ. New York 1989.
- Albrecht-Buehler G. In defense of „nonmolecular“ cell biology. *Int. Rev. Cytol.* 1990;120:191.
- Albrecht-Buehler G. Surface extension of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J. Cell. Biol.* 1991;114:493.
- Aldrich T.E., Easterly C.E. Electromagnetic fields and public health. *Environ. Health Perspect.* 1987;75:159.
- Bassett C.A.L., Pawluk R.J., Pilla A.A. Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields. *Science* 1974;184:575.
- Bistolfi F. *Radiazioni Non Ionizzanti, Ordine, Disordine e Biostrutture*. Edizioni Minerva Medica, Torino 1989.
- Byus C.V., Lundak R.L., Fletcher R.M., Sadey W.R. Alterations in protein kinase activity following exposure of cultured lymphocytes to modulated microwave fields. *Bioelectromagnetics* 1984;5:34.
- Bullock T.H. Electromagnetic sensing in fish. *Neurosci. Res. Program Bull.* 1977;15:17.
- Cadossi R., Bersani F., Cossarizza A., Zucchini P., Emilia G., Torelli G., Franceschi C. Lymphocytes and low-frequency electromagnetic fields. *FASEB J.* 1992;6:2667.
- Chiabrera A., Grattarola M., Parodi G., Marcer M. Interazione tra campo elettromagnetico e cellule. *Le Scienze (Italian edition of Sci. Am.)* 1984;192:78.
- Conti P., Gigante G., Cifone M.G., Alesse E., Ianni G.F., Reale M., Angeletti P.U. Reduced mitogenic stimulation of human lymphocytes by extremely low frequency electromagnetic fields. *FEBS Lett.* 1983;162:156.
- Cossarizza A., Monti D., Bersani F., Cantini M., Cadossi R., Sacchi A., Franceschi C. Extremely low frequency pulsed electromagnetic fields increase cell proliferation in lymphocytes from young and aged subjects. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1989;160:692.
- Del Giudice E., Doglia S., Milani M., Vitiello G. Structures, correlations and electromagnetic interactions in living matter: Theory and applications. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988b:49.
- Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988.
- Hameroff S.R. Coherence in the cytoskeleton: Implications for biological information processing. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988:242.
- Hasted J.B. Metastable states of biopolymers. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988:102.
- Ho M.W., Popp F.A. Biological organization, coherence, and light emission. In: Stein W., Varela F.J. (Hrsg.). *Thinking About Biology*. SFI Studies in the sciences of Complexity. Lect. Note vol. III, Addison-Wesley Pub. Comp., Reading, MA, 1994:183.
- Kell D.B. Coherent properties of energy-coupling membrane systems. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer Verlag, Berlin 1988:233.
- König H.L. Bioinformation. Electrophysical aspects. In: Popp F.A., Warnke U., König H.L., Peschka W. (Hrsg.). *Electromagnetic Bio-Information*. Urban & Schwarzenberg, München 1989:42.
- Kremer F., Santo L., Poglitsch A., Koschnitzke C., Behrens H., Genzel L. The influence of low-intensity millimeter waves on biological systems. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988:86.

- Kroy W. The use of optical radiation for stimulation therapy. In: Popp F.A., Warnke U., König H.L., Peschka W. (Hrsg.). *Electromagnetic Bio-Information*. Urban & Schwarzenberg, München 1989:200.
- Liu D.S., Astumian R.D., Tsong T.Y. Activation of Na⁺ and K⁺ pumping modes of (Na,K)-ATPase by an oscillating electric field. *J. Biol. Chem.* 1990;265:7260.
- Luben R.A., Cain C.D., Chen M.Y., Rosen D.M., Adey W.R. Effects of electromagnetic stimuli on bone and bone cells in vitro: inhibition of responses to parathyroid hormone by low-energy, low-frequency fields. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 1982;79:4180.
- Ludwig W. SIT - System-Informationen-Therapie. *Schwingungsmedizin in Theorie und Praxis*. Spitta, Balingen 1994.
- Magnavita N. Radiazioni elettromagnetiche e rischi per la salute. *The Practitioner* (Italian edition) 1989;124:30.
- Pollock J.K., Pohl D.G. Emission of radiation by active cells. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988:139.
- Pool R. Is there an EMF-cancer connection? *Science* 1990;249:1096.
- Popp F.A. *Nuovi Orizzonti in Medicina. La teoria dei Biofotoni*. IPSA Editore, Palermo 1985.
- Popp F.A., Warnke U., König H.L., Peschka W. (Hrsg.). *Electromagnetic Bio-information*. Urban und Schwarzenberg, München 1989.
- Shaya S.Y., Smith C.W. The effects of magnetic and radiofrequency fields on the activity of lysozyme. *Collective Phenomena* 1977;2:215.
- Smith C.W., Choy R., Monro J.A. Water - friend or foe? *Lab. Pract.* 1985;34:29.
- Smith C.W. Electromagnetic effects in humans. In: Fröhlich H. (Hrsg.). *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Springer-Verlag, Berlin 1988:205.
- Smith C.W. Coherent electromagnetic fields and bio-communication. In: Popp F.A., Warnke U., König H.L., Peschka W. (Hrsg.). *Electromagnetic Bio-Information*. Urban und Schwarzenberg, München 1989:1.
- Smith C.W. Homeopathy, structure and coherence. In: *Homeopathy in Focus*. VGM Verlag für Ganzheitsmedizin, Essen 1990:96.
- Smith C.W. Electromagnetic and magnetic vector potential bio-information and water. In: Endler P.C., Schulte J. (Hrsg.). *Ultra High Dilution*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1994:187.
- Tsong T.Y. Deciphering the language of cells. *Trends Biochem. Sci.* 1989;14:89.
- Walleczek J., Liburdy R.P. Nonthermal 60-Hz sinusoidal magnetic-field exposure enhances 45Ca²⁺ uptake in rat thymocytes: dependence on mitogen activation. *FEBS Lett.* 1990;271:157.
- Walleczek J. Electromagnetic effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. *FASEB J.* 1992;6:3177.
- Weaver J.C., Astumian R.D. The response of living cells to very weak electric fields: the thermal noise limit. *Science* 1990;247:459.
- Yost M.G., Liburdy R.P. Time-varying and static magnetic fields act in combination to alter calcium signal transduction in the lymphocyte. *FEBS Lett.* 1992;296:117.