

Elektro-Magneto-Thera Situation u

Roland Glaser

Das Interesse der Leser dieser Zeitschrift richtet sich natürlich in erster Linie auf Fragen nach möglichen gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks. Wenn hier ein Beitrag über die therapeutische Nutzung dieser Felder und Strahlen folgt, so ist beabsichtigt, einen Blick über den Zaun zu vermitteln und zu zeigen, dass beide Richtungen nicht nur auf den gleichen biophysikalischen Grundlagen beruhen, sondern auch weitere Gemeinsamkeiten haben, die es lohnt, einmal näher zu betrachten. Die Erfahrungen der medizinischen Physik auf dem Gebiet magnetischer und elektrischer Feldwirkung gehen wesentlich weiter zurück, als jene des Umweltschutzes. Dies gilt sowohl für biophysikalische Mechanismen, als auch für die Einschätzung des soziologisch-psychologischen Verhaltens der Betroffenen. Die Sorge breiter Schichten der Bevölkerung vor möglichen gesundheitlichen Schäden durch magnetische Felder des Wechselstromes und durch hochfrequente Felder der Kommunikationssysteme ist zwar älter als die unselige Prägung des Wortes „Elektrosmog“, datiert aber erst einige Jahrzehnte zurück, obgleich es elektrischen Wechselstrom und Rundfunksender bereits seit über hundert Jahren gibt. Wenn andererseits immer wieder behauptet wird, die Wissenschaft sei erst wach geworden, hätte sich erst dann mit möglichen gesundheitlichen Einwirkungen von Hochfrequenzfeldern beschäftigt, als die Felder des Mobilfunks bereits jedermann exponierten, dann ist das eine Verkennung der Tatsachen. Die Biophysik bzw. die medizinische Physik hat sich jeweils sofort und mit großem Interesse jeder physikalisch-technischen Neuentdeckung gewidmet und diese auf mögliche medizinische Anwendungen überprüft.

Bereits 1934 berichtete zum Beispiel A.J. Ginsberg über die Wirkung von Ultrakurzwellen im Sinne therapeutischer Nutzung und 1938 erschien die Zusammenfassung langjähriger Forschungsarbeit des Frank-

furter Instituts für Medizinische Physik zu diesem Thema in einer Monographie unter dem Titel „Ultrakurzwellen in ihren medizinischen-biologischen Anwendungen“, herausgegeben von dessen Direktor Boris Rajewsky. Dieser Band enthält Pionierarbeiten zur Ultrakurzwellen-Wirkung im lebenden Gewebe und zur Theorie des Verhaltens biologischer Systeme im Hochfrequenzfeld. Die Amerikaner taten wohl daran, im Jahre 1946 Hermann Schwan, einen führenden Mitarbeiter dieses Instituts, mit in ihr Land zu holen und mit leitenden Aufgaben in ihren Strahlenschutz-Institutionen zu betrauen (Foster 2002 a, b).

Erweitert man das Blickfeld über den Hochfrequenz-Bereich hinaus und bezieht elektrische und magnetische Wirkungen allgemein in die Betrachtungen ein, dann muss man historisch noch wesentlich weiter gehen. Seit mehr als drei Jahrhunderten, im Grunde seit der Erfindung der Elektrisiermaschine durch Otto von Guericke im Jahre 1672 bzw. ihrer technischen Perfektion und der Nutzung der Leidener Flasche, 70 Jahre später, war man bemüht, auf mehr oder weniger stabilem wissenschaftlichen Fundament Elektrizität medizinisch zu nutzen. Der Versuch, magnetische Kräfte in die Heilkunst einzuführen, geht sogar bereits auf Paracelsus (1526) zurück. (Für die in modernen Prospekten immer wieder behauptete Nutzung des Magneten in der frühen chinesischen Medizin konnte der Autor keine Hinweise in der einschlägigen Fachliteratur finden.)

Neben der Gemeinsamkeit von Umweltschutz und Medizin bezüglich des biophysikalischen Hintergrundes gibt es noch einen weiteren Aspekt, der eine Kommunikation zwischen diesen beiden Gebieten lohnend macht. Es ist das Problem des Überganges von der Wissenschaft zur **Esoterik**, der Übergang von rationalem zu irrationalem Herangehen, der auf beiden Gebieten erfolgt, ohne dass dabei eine scharfe Grenze definierbar wäre. Von der akuten Verbrennung eines unachtsamen Hochfrequenztechniklers bis zu den irrationalen Ängsten vor einem, eventuell noch gar



pie nd Perspektiven



nicht angeschlossenen Sendemast, oder dem Zusammenhang mit hypothetischen Erdstrahlen erfolgt dies ebenso wie zwischen einer Hyperthermie-Behandlung und der Therapie mit den angeblichen Strahlen aus der Hand eines Heilers. In dem einen Fall wird der Bereich des Irrationalen betreten aus mehr oder weniger begründeten Ängsten vor Krankheit, im anderen wegen ebensolcher Hoffnungen auf Heilung. Die psychologischen Hintergründe dieses gerade in unserer Zeit grassierenden irrationalen Verhaltens des Menschen in den entwickelten säkularen Industrieländern hat der amerikanische Religions-Soziologe Peter L. Berger treffend dargelegt, dessen Buch „Sehnsucht nach Sinn“ bezeichnenderweise den Untertitel trägt: „Glauben in einer Zeit der Leichtgläubigkeit“.

Im Folgenden sei versucht, dem Leser einen kurzen Überblick über einige der derzeit angebotenen Therapie-Methoden mit magnetischen, elektrischen und elektromagnetischen Feldern zu vermitteln, wobei der Autor keineswegs Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann. Auch soll sich dieser Bericht im Wesentlichen auf aktuelle Trends und die prinzipiellen Fragen konzentrieren, die Umweltschutz und Medizin gemeinsam bewegen.

Zunächst sind allerdings zwei Abgrenzungen erforderlich: Die eine Abgrenzung bezieht sich auf ein bedeutendes Gebiet der physikalischen Therapie, das bereits wesentlich besser fundiert und in seinen Wirkungsmechanismen weitgehend bekannt ist. Gemeint ist die eigentliche Strahlen-Therapie, also die medizinische Nutzung ionisierender Strahlen. Auch Aspekte der UV-, Licht- und IR-Therapie sollen hier nicht behandelt werden. Vielmehr wollen wir uns auf den Frequenzbereich konzentrieren, der von etwa 100 GHz abwärts bis zu statischen Feldern reicht.

Eine zweite Abgrenzung, die jedoch leider nicht so deutlich und mit wenigen Worten zu erklären ist, betrifft die als esoterisch einzustufenden Methoden. Was ist „Esoterik“? Darüber gibt es viele Bücher, doch wollen wir uns ganz schlicht auf die griechische

Übersetzung des Wortes „esoterós“ = „der innere“ beziehen, wonach man Esoterik, zugegebenermaßen etwas lax, als „Wissenschaft für Eingeweihte“, kurz: „Insider-Wissenschaft“ übersetzen kann. Ein Blick ins Internet belehrt uns schnell, was dies in Zusammenhang mit der hier zu behandelnden Thematik bedeutet. Sucht man nämlich nach Parametern für „Bioresonanz-Therapie“, „Quantum-Healing“, „Radionics“, „Kernspin-Resonanz-Therapie“ etc., möchte also wissen, was für Felder, welcher Intensität, Frequenz, Modulation diese Verfahren eigentlich verwenden, in welchen Fachzeitschriften solche Daten und entsprechende Wirksamkeitsnachweise publiziert sind, wie die Produzenten auf die von ihnen als wirksam bezeichneten speziellen Parameter gekommen sind, so findet man nur verschwommene Hinweise ohne konkreten Inhalt. Es ist „Insider-Wissen“, offenbar nur Eingeweihten zugänglich.

Am Beispiel der so genannten „Bioresonanz-Therapie“ kann man den fließenden Übergang von der Physik zur Esoterik gut demonstrieren. Unabhängig von ihrer medizinischen Bedeutung lassen sich selbstverständlich von der Oberfläche des Körpers elektrische Potentiale und Stöme ableiten. Elektro-Kardiogramm, – Enzephalogramm, – Myogramm gehören schließlich zu dem medizinischen Alltag. Auch statische Potentialdifferenzen existieren zwischen verschiedenen Körperteilen. Sie sind messbar, wenn man Geräte geeigneter Empfindlichkeit verwendet. Vieles daran basiert allerdings auf Unterschieden der Leitfähigkeit der Haut, Schweißbildung und deren Einfluss auf die Elektrodenpolarisationen. Jedem Elektroniker ist verständlich, dass diese Potentiale, verstärkt man sie nur genügend weit, einem Rauschen unterliegen. Auch wird kein Mathematiker bestreiten, dass man dieses Rauschen einer Fourier-Analyse unterwerfen kann und damit ein mehr oder weniger aussagekräftiges Frequenz-Spektrum erhält. Dafür gibt es heute gute und schnelle Software. Soweit ist dieses Verfahren wissenschaftlich fundiert. Die Ausrüstung des Therapie-

ten mit Elektroden, elektronischen Verstärkern und Computern sieht auch richtig professionell aus und schafft auch Vertrauen beim Patienten. Esoterisch wird es in dem Moment, in dem man diesem Spektrum eine biologische Bedeutung beimisst, von „ultrafeinen“ Schwingungen spricht, die auch homöopathischen Medikamenten eigen und leicht messbar seien, indem diese in geschlossenen Ampullen kapazitiv in den Stromkreis einbezogen würden. „Falsche“ Medikamente verstärken die gemessenen Frequenzen, „richtige“ dämpfen sie! Nun sind solche Schwingungen, abgesehen von Streuungen im Fourier-Spektrum, weder im Organismus, noch viel weniger in irgendwelchen Arzneimitteln tatsächlich nachgewiesen, noch sind sie biophysikalisch oder physikochemisch vorstellbar.

Esoteriker sehen in diesen Dingen eine Analogie zu dem aus der Chinesischen Medizin entlehnten Begriffes „ch'i“, den man mit Lebens-Energie übersetzt. Dies ist jedoch nach Meinung von Sinologen ebenso falsch wie die behauptete dahinter stehende Biophysik: „Es gibt allerdings keinerlei stichhaltige Anzeichen dafür, dass die chinesischen Denker, die dieses Heilsystem schufen, einen derartigen Begriffsinhalt beabsichtigten“ (Unschuld, 1980, S.60). Einer der wohl besten Kenner wissenschaftlichen Denkens im alten China, Joseph Needham übersetzt das ch'i mit „Dunst, Geist, feinsten Einfluss, vergleichbar etwa mit dem *pneuma* der Griechen“ (Needham 79). Nun wäre dies ein Problem der Sinologen; wir brauchen nicht weiter darauf einzugehen, würde man nicht durch diesen Kunstgriff die Brücke zur Thermodynamik schlagen, um sich den Anstrich der Wissenschaftlichkeit zu geben. Man operiert dann mit physikalischen Begriffen, als sei das ch'i tatsächlich eine von der Physik akzeptierte Energieform.

Es erscheint erwähnenswert, dass die „Bioresonanz“-Therapie keine Erfindung der Neuzeit ist, sondern wesentlich älter als Computer, Fourier-Analyse und philosophische Ost-Asien-Mode. 1882 studierte in Heidelberg ein gewisser Albert Abrams Medizin, ging dann als Arzt nach London, Berlin, Wien und Paris und wurde schließlich Professor für Pathologie am Cooper Medical College und Präsident der Emanuel Poliklinik

in San Francisco. Er untersuchte Veränderungen von Schwingungen elektrischer Potentiale auf der Körperoberfläche, die er „Electronic Reactions of Abrams“ (ERA) nannte. Um diese nachzuweisen, entwickelte und verkaufte er Geräte, die er „Oscilloclast“, „Elektrobioscop“, „Biodynamometer“ nannte. Er glaubte an Schwingungen im Körper und wertete nicht nur elektrische Vibrationen von Patienten aus, sondern führte auch Ferndiagnosen durch an eingesandten Blutropfen und sogar an handschriftlichen Dokumenten, aus deren „Schwingungen“ er nicht nur Krankheiten des Absenders ermittelte, sondern selbst Geschlecht, Rasse, Religion und finanzielle Situation. Obgleich Techniker feststellten, dass die von ihm vertriebenen Geräte elektronisch unsinnig waren, gab es im Jahre 1923 in den USA allein 3500 mit dieser Methode praktizierende Ärzte. Nach seinem Tod im Jahre 1924 hielt ihn die American Medical Association für „easily ranked as a dean of all twentieth century charlatans“ (Edwards 2003). Das Internet und die Annoncen in Zeitungen lehren uns allerdings, dass sich in den letzten 100 Jahren abgesehen vom Einsatz moderner Computer an diesem Bioresonanz-Prinzip nichts geändert hat. Ferndiagnose und -therapie werden auch heute noch in dieser Branche angeboten.

Wenn auch der „Schulmedizin“, ähnlich wie den „traditionellen“, im Gegensatz zu den „kritischen“ Wissenschaftlern immer wieder Ignoranz und Arroganz vorgeworfen wird, so lässt sich doch nicht leugnen, dass unser Wissen aus Empirie gespeist und durch Theorie verarbeitet ist. Wie uns Abb. 1 lehrt, kann man auch die Methoden der Elektro-Magneto-Medizin nach diesem Schema gruppieren. Sowohl wissenschaftlich plausible Mechanismen als auch empirische Erfahrungen, manifestiert in sauberen klinischen Tests, können Basis einer klinischen Applikation sein. Nach diesem Prinzip lassen sich diese Verfahren in solche einteilen, die sowohl klinisch erprobt als auch theoretisch verstanden sind, solche, für die es zwar eine theoretische Möglichkeit gibt, die jedoch noch längst nicht die klinische Reife erlangt haben, und schließlich wissenschaftlich unverständliche und klinisch auch nicht ordnungsgemäß getestete Verfahren (Abb. 1).

Wie aus der Abbildung ersichtlich, gehören auch die vielfältig angebotenen Verfahren der Therapie mit Permanent-Magneten in den Bereich, der weder biophysikalisch plausiblen noch klinisch geprüften Methoden. Der Glaube daran, dass die geheimnisvolle Kraft des Magneten auf die Gesundheit des Menschen einwirken könnte, ist seit Franz Anton Mesmer (1734-1815) unausrottbar. Die Flut an Annoncen ist schier unüberschaubar: Magnet-Pflaster, -Binden, -Bandagen, -Gürtel, -Einlegesohlen, -Armbänder, -Matratzen, -Kissen sollen heilsam sein für nahezu alle Erkrankungen. Man schätzte den Umsatz der entsprechenden Industrie für das Jahr 1999 weltweit auf ca. 5 Milliarden Dollar (Weintraub 1999).

Publikationen über Therapie-Erfolge mit dieser Methode ergeben ein recht zweifelhaftes Bild. Einige dieser Untersuchungen scheinen einen gewissen Effekt gefunden zu haben, allerdings mit durchaus nicht repräsentativen Gruppen von 10 und weniger Patienten

(Brown et al. 2002, Man et al. 1999, Segal et al. 1999, Vallbona et al. 1997, Weintraub 1998), andere fanden zwar einen Effekt, der sich jedoch statistisch nicht absichern ließ (Jacobson et al. 2001), zumeist konnte jedoch keinerlei Einfluss der Magnettherapie auf Fuß- (Caselli et al. 1997, Winemiller et al. 2003), Rücken- oder Schulter-Schmerz (Collacott 2000, Hong et al. 1982) gefunden werden. Auf eine Anfrage von Ärzten wertete das „Centre of Clinical Effectiveness“ in Australien Publikationen der Jahre 1990-2000 aus und kam zu dem Schluss, dass es bezüglich Magnetbehandlung von Patienten mit Rücken-Schmerzen keine statistisch belegbaren Heilerfolge gibt (Wasiak et al. 2001). Zu dem gleichen Schluss kommt auch eine amerikanische Übersicht aus dem Jahre 2003 (Barrett 2003).

Es sei allerdings erwähnt, dass es in letzter Zeit auch einen sich stürmisch entwickelnden Bereich gibt, in dem Permanent-Magneten dieser Stärke durchaus

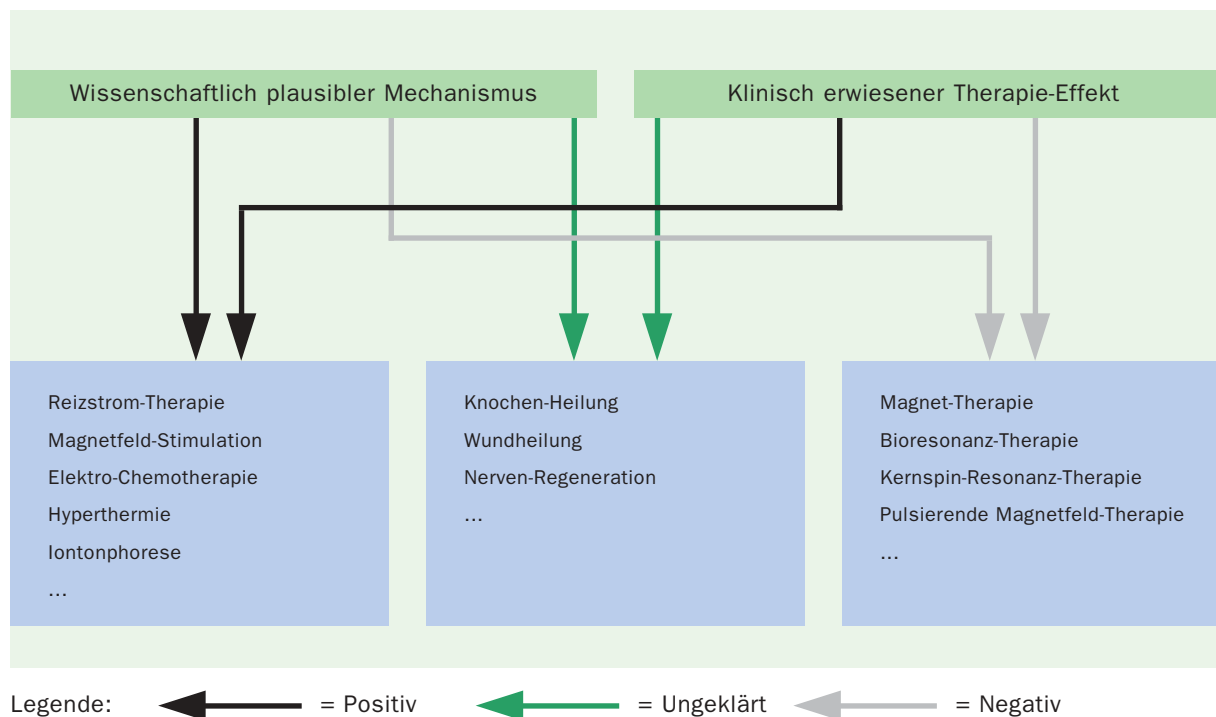


Abb. 1: Die Effektivität von Therapieverfahren kann entweder durch wissenschaftlich plausible Mechanismen, oder durch ordnungsgemäße klinische Tests fundiert sein. Nach der Einschätzung durch diese Kriterien kann man die Verfahren in drei Gruppen einteilen.

wirksam sind. Die Rede ist von verschiedenen Methoden, die als „Magnetophorese“ (Iwata et al. 2003, Nakamura et al. 2001), „magnetic drug targeting“ (Fricker 2001, Alexiou et al. 2000) oder „magneto-faction“ (Plank et al. 2003, Krotz et al. 2003) in der Literatur bezeichnet werden. Hier werden supraparamagnetische Mikropartikel immunologisch an Zellen oder Moleküle geheftet und diese dann im Magnetfeld bewegt und dadurch in Suspensionen separiert bzw. an bestimmten Stellen im Körper angereichert. Auf diese Weise lassen sich Zellen selektiv trennen oder auch Medikamente magnetisch an bestimmten Wirkorten konzentrieren.

Ebenfalls auf wissenschaftlichem Fundament steht die in letzter Zeit eingeführte Methode der Magnetstimulation. Sie wurde möglich, als man über Kondensatoren verfügte, leistungsfähig genug, um in Spulen kurze Magnetpulse in Tesla-Stärke zu erzeugen. Genau genommen handelt es sich natürlich nicht um eine wirklich „magnetische“ Stimulation. Nicht das Magnetfeld, sondern magnetisch induzierte Wirbelströme im Gewebe lösen den Reiz aus (S. Abb. 2). Diese Methode erlangt insbesondere in der Neurologie steigende Bedeutung. Durch geschickte Anordnung der Spulen können Wirbelströme mehr oder weniger gezielt in bestimmten Hirnbereichen induziert werden. Neben dem Vorteil der anatomischen Selektivität der Reizung ist diese Methode, im Gegensatz zur Implantation von Elektroden, nicht invasiv (McLean et al. 2003). Allerdings gibt es auch warnende Stimmen, die auf mögliche Nebeneffekte dieser starken Magnetpulse hinweisen (Hill et al. 2000).

Damit kommen wir zu der unübersichtlich großen Zahl verschiedener medizinischer Anwendungen pulsierender Felder, die sich unter der Abkürzung PEMF-Therapie (**p**ulsierende **e**lektromagnetische **F**elder) zusammenfassen lassen. Im weitesten Sinne gehören auch die TENS-Methoden dazu, die „transkutane elektrische Nerven Stimulation“, die man mit mehr oder weniger gutem Erfolg zur Lösung von Muskelverspannungen einsetzt. Während jedoch bei TENS unmittelbar spürbare elektrische Reize ausgelöst werden, induziert durch Elektroden auf der Haut, glaubt man bei PEMF entweder an eine direkte Wirkung der Magnet-

felder einer externen Spule oder an die Wirkung der dadurch induzierten Wirbelströme. Die bei PEMF verwendeten Magnetfelder sind viel zu schwach, um durch Wirbelströme Reize auszulösen. Schmidt-Rohlfing et al. (2000) werteten 37 klinische Studien aus, durchgeführt an insgesamt 3379 Patienten. Sie kommen zu dem Schluss, dass der Einsatz von pulsierenden elektromagnetischen Feldern bei orthopädischen Krankheitsbildern bislang wissenschaftlich nicht belegt sei.

Es ist schwer, sich durch die vielfältigen und immer wieder mit neuen Namen belegten Arten der PEMF Methoden hindurch zu arbeiten. Hierzu zählen Verfahren, die zum Beispiel als „Pulsierende Signaltherapie“ (PST), „MultiBioSignal-Therapie“ (MBST) oder wie bereits erwähnt: „Kernspin-Resonanz-Therapie“ (MBST) bezeichnet werden. Leider findet man zu diesen Verfahren kaum wissenschaftliche Publikationen, so dass man auf Firmenprospekte und Presse-Artikel angewiesen ist. Nach diesen Prospekten gibt es kaum eine Krankheit, die auf diese Weise nicht heilbar wäre, obgleich man sich vornehmlich auf den Bereich der Orthopädie konzentriert. Die MBST gibt sich einen wissenschaftlichen Anstrich mit der völlig unbegründeten und physikalisch unsinnigen Behauptung, mit Milli-Tesla Impulsen bleibenden Einfluss auf den Kernspin körpereigener Atome auszuüben. Zumeist wird argumentiert, man erreiche damit, die „kranke körpereigene Signal-Gebung in die ursprünglich gesunden Bahnen zu lenken“. Dabei wird weder erläutert, was man darunter versteht, noch wie man diese magnetisch oder elektrisch beeinflussen will. Frequenz, Modulation oder Pulsform werden in diesen Prospekten selten angegeben. Manche Hersteller modulieren diese Felder sogar mit Musik, dem Geschmack des Patienten angepasst (Ortho-Press 2, 2000, S.50). Bezeichnenderweise behauptet jeder Produzent, die von ihm verwendete Frequenz oder Modulation sei optimal, ohne dass je eine Studie publiziert wurde, welche dieses oder ein anderes Optimum nachgewiesen hätte.

Sucht man nach Erklärungen der Mechanismen, die diesen Methoden zugrunde liegen sollen, dann finden sich, ähnlich wie in manchen populären Schriften zum Elektrosmog, Argumente, die dem Laien durchaus sinn-

voll erscheinen müssen. Da ist die Rede von Beeinflussung der Ionenflüsse in den Membranen der Zelle und Orientierung polarer Proteinmoleküle. Tatsächlich fehlen hier quantitative Abschätzungen. Es wird nicht erwähnt, dass man mit dem 10^7 V/m starken elektrischen Feld der Membran und Feldern in Molekülen ähnlicher Größenordnung konkurrieren muss (Glaser 1996). Hier fehlen viele Zehnerpotenzen zwischen den eigentlich durch die Methoden erzeugten Feldern und dieser Größenordnung. Die Reklame lebt davon, dass dies der Bürger natürlich nicht wissen kann.

Das PST Verfahren basiert angeblich auf „jahrelanger Forschungsarbeit“ des amerikanischen Arztes und Biophysikers Dr. Dr. Richard Markoll (Berliner Morgenpost vom 29.9.1999). Richard Markoll, seine Frau Ernestine, sowie sein Mitarbeiter David H. Trock wurden allerdings im Jahre 2001 wegen betrügerischer Zahlungsforderungen im Zusammenhang mit der Pulsierenden Magnet Therapie (PMT) von einem amerikanischen Gericht mit Bewährungsstrafen belegt. Robert Markoll selbst wurde ferner für schuldig befunden, die akademischen Titel MD und PhD unberechtigt zu führen (Barrett 2003).

Ein spezieller Teil der PEMF-Therapie konzentriert sich auf die Heilung von Knochen und Gelenken. Für ein solches Verfahren gibt es tatsächlich eine gewisse, wenn auch noch sehr hypothetische, wissenschaftliche Basis. Ausgangspunkte waren einmal das bereits 1892 entdeckte sogenannte Wolff'sche Gesetz des Knochenwachstums, zum anderen die Yasuda-Hypothese. Die auch heute noch gültige Vorstellung von J. Wolff besagt, dass die Orientierung von Knochenbälkchen nicht genetisch vorgegeben ist, sondern unmittelbar durch ihre mechanischen Belastung gesteuert wird. Die Frage nach der Kopplung zwischen lokaler Knochendehnung und Wachstumsorientierung schien eine Lösung gefunden zu haben, als eine japanische Arbeitsgruppe unter der Leitung von I. Yasuda im Jahre 1953 erstmalig nachwies, dass die Belastung des Knochens mit der Entstehung elektrischer Signale einhergeht. Ursache dafür sind piezoelektrische Eigenschaften der Knochenproteine und, wie sich später herausstellte, mehr noch die Strömungspotentiale in den Knochen-Kanälen.



Abb. 2: Durch „Magnetstimulation“ können Wirbelströme in bestimmten Gehirnbereichen erzeugt und diese damit angeregt werden.

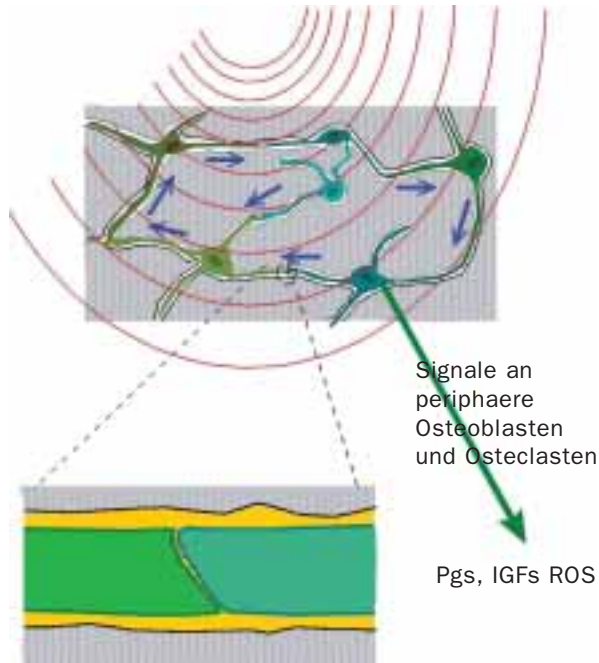


Abb. 3: Die Hypothese zur elektro-magnetischen Knochen-Therapie: Die Knochenzellen (Osteozyten) befinden sich in engen Knochenkanälen und sind hier mit Fortsätzen untereinander vernetzt. Damit können sie auf Verformungen des Knochens durch mechanische Belastungen reagieren. Es entstehen dabei Strömungen und elektrische Strömungspotentiale in diesen Kanälen. Prinzipiell ist durch Induktion eines elektrischen Stromes in diesen Kanälen eine Anregung dieser Zellen denkbar, was zu einer Ausschüttung von Wachstumsfaktoren führen und die an der Oberfläche des Knochens befindlichen Osteoblasten und Osteoclasten (hier nicht gezeichnet) stimulieren könnte.

Was lag näher, als die entstehenden elektrischen Ströme für die Wachstumsorientierung oder zumindest für die Wachstumsstimulation der Zellen verantwortlich zu machen und daraus die Schlussfolgerung zu ziehen, dass dieser Prozess, zumal wenn er pathologisch geschädigt ist, elektrisch stimuliert werden kann. Bisher sind mehrere hundert klinische und tierexperimentelle Publikationen zu diesem Thema erschienen. Leider produzieren bereits einige Firmen entsprechende Therapiegeräte ohne ausreichende Tests. Dabei werden Ströme verschiedener Art direkt appliziert oder durch externe Spulen im Knochen induziert. Auch hier gibt es bereits eine Metastudie, die bisherige Erfolge zwar nicht bestreitet, jedoch auch nicht als gesichert erscheinen lässt (Akai and Hayashi 2002).

Obleich die Ausgangshypothese sinnvoll scheint, weiß man zum Mechanismus der Kopplung zwischen elektrischem Feld und Wachstumsstimulation bisher wenig. Prinzipiell scheinen an dem Prozess der Knochen-Regeneration vor allem drei Arten von Zellen beteiligt zu sein: frei bewegliche Osteoblasten an Knochen-Oberflächen, die für den Knochenaufbau verantwortlich sind, ferner die ebenso beweglichen Osteoclasten als deren Antagonisten, welche für den Abbau der Knochensubstanz sorgen, und schließlich die Osteozyten. Letztere sind aus Osteoblasten hervorgegangen und haben sich im Zuge der Knochenbildung selbst in der Knochen-Matrix eingemauert. Mit jeweils bis zu 80, zum Teil 15 mm langen Fortsätzen bilden diese Zellen im Knochen untereinander ein chemisch und elektrisch kommunizierendes Netzwerk (Abb. 3).

Das Augenmerk konzentriert sich heute auf diese Fortsätze der Osteozyten, die in den engen Kanälen der Knochenmatrix liegen (Zhang et al 1997, Hung et al. 1996). Bereits bei kleinen Verbiegungen des Knochens von 0,5 bis 1 % entstehen Strömungen in dem nur wenige Nanometer breiten, flüssigkeitsgefüllten Spalt zwischen Zellmembran und Knochenmatrix. Lösen diese Strömungen nun unmittelbar zelluläre Signale aus, oder wirken sie über den Umweg durch die entstehenden elektrischen Strömungspotentiale? In jedem Falle werden Osteozyten stimuliert und offen-

bar schütten diese dadurch Botenstoffe aus, Wachstumsfaktoren (IGF's), welche in die Balance der Aktivitäten von Osteoblasten und Osteoclasten eingreifen.

Prinzipiell scheint hier ein biophysikalischer Ansatz vorzuliegen, der zu einem therapeutisch nutzbaren Verfahren führen kann. Könnte man nicht Ströme im Knochen erzeugen, die etwa mit der Frequenz der natürlichen Beanspruchung beim Laufen schwanken? Diese würden dann entweder direkt auf das Netzwerk der Osteozyten wirken, oder sie würden indirekt, über die Erzeugung elektrokinetischer Ströme in den Kapillaren, von den Zellen registriert. Es bedarf noch umfangreicher Arbeiten, um den Mechanismus dieses Prozesses zu klären und anschließend technische Möglichkeiten für die Applikation elektrischer Felder optimaler Intensität und Pulsform zu finden. Das Vorpreschen geschäftstüchtiger Scharlatane kann dabei dem Fortschritt nur schaden.

Außer der elektrischen Reiztherapie sind inzwischen noch weitere Methoden der Elektro-Therapie etabliert, deren Wirkungsweisen biophysikalisch verständlich sind. Als Iontophorese wird ein Verfahren bezeichnet, in welchem Pharmaka als ladungstragende Moleküle durch einen angelegten Gleichstrom in den Körper eingebracht werden (Craane Van Hinsberg 1997). Im Grunde ist dies einfach eine Beschleunigung der Aufnahme dieser Stoffe durch die Haut. Man verwendet dazu Stromdichten zwischen 0,1 bis 0,3 mA/cm². Ähnlich verhält es sich mit der so genannten Elektro-Chemotherapie, die vorwiegend bei der Behandlung von leicht zugänglichen Krebsgeschwüren effektiv sein könnte (Krassowska et al. 2003, Yen et al. 1999). In diesem Fall werden sehr kurze elektrische Pulse sehr hoher Feldstärke lokal appliziert. Dies führt zum elektrischen Durchbruch der Zellmembranen in dem behandelten Gewebe (Glaser 1996). Für eine kurze Zeit verlieren die Zellen ihre Eigenschaft als Permeabilitätsbarriere; der zuvor applizierte Wirkstoff kann in die Zelle eindringen. Auf diese Weise können Cance-rostatica effektiv eingesetzt werden, die wegen schlechter Aufnahme durch die Zellen normalerweise wenig wirksam sind. Diese Methode vermindert gleichzeitig die Gesamtbelastung des Körpers und gewähr-

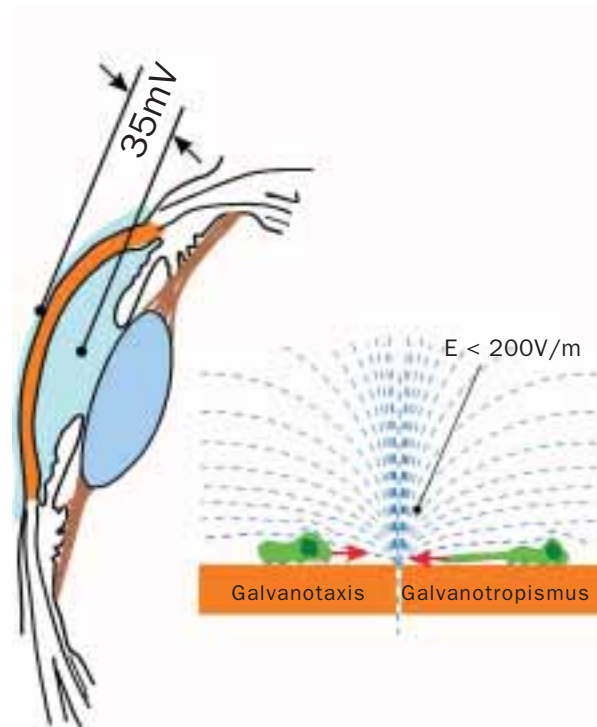


Abb. 4: Die Hypothese zur elektrisch stimulierten Wundheilung: Über Gewebemembranen liegen *in-vivo* elektrische Potential-Differenzen von 20-100mV an. Dies, am Beispiel des Auges erklärt, wo die Cornea die äußere feuchte Oberfläche von der inneren Lymphe trennt. Bei Verletzungen (rechtes Bild) entstehen Ströme und dadurch Feldgradienten, in denen Zellen zur Wunde wandern (Galvanotaxis) oder in Richtung auf die Wund auswachsen (Galvanotropismus). Beides hofft man therapeutisch nutzen zu können.

leistet eine lokale Therapie. Bisher ist dieses Verfahren allerdings erst im Stadium des Tierexperimentes. Auch der in Abb. 1 genannten Wundheilung durch elektrische Felder liegt der Gedanke zugrunde, einen *in-vivo* auftretenden Prozess therapeutisch zu nutzen (Zhao et al. 2003, Wang et al. 2003, Grahn et al. 2003). Nicht nur über die Zellmembran, sondern auch über Gewebemembranen verschiedener Organe, auch über die Haut existiert eine permanente elektrische Potentialdifferenz von 20 bis 100 mV. Dabei wirkt das Epithel durch seinen Ionentransport als Generator und gleichzeitig als Dielektrikum. Wird ein solches Epithel verletzt, so entsteht ein lokaler Kurzschluss (Abb. 4). Es fließt ein Strom durch die Wunde und erzeugt ein elektrisches Potentialgefälle. Dabei können lokale Feldstärken bis zu 200 V/m entstehen. Dieses Feld wirkt orientierend sowohl auf bewegliche Zellen, wie z.B. Granulozyten, Fibroblasten etc. als auch auf die Wachstumsrichtung von Nervenzellen. Im ersten Fall spricht man von Galvanotaxis, im zweiten Fall von Galvanotropismus. Diese Vorgänge scheinen eine wesentliche Rolle beim Wundverschluss zu spielen und sind insbesondere im Zusammenhang mit Augen-Verletzungen untersucht. Dies legt natürlich den Gedanken nahe, künstliche elektrische Felder zur Stimulation der Heilung von Wunden zu verwenden bzw. durch künstlich angelegte elektrische Felder Nerven gezielt zusammenwachsen zu lassen. Problematisch ist auch hier, eine geeignete Technologie zu finden, elektrische Felder der erforderlichen Stärke lokal zu applizieren. Es wird wohl noch eine Zeit vergehen, bevor man solche Verfahren effektiv einsetzen kann.

Zu den biophysikalisch etablierten Methoden gehören natürlich auch die verschiedenen Arten diathermischer Behandlung. Hier wird der im Umweltschutz gefürchtete „thermische“ Effekt hochfrequenter Felder medizinisch genutzt. Während man sich bisher auf die Frequenzbereiche 13-40 kHz („Kurzwellen-Therapie“) und 400-2450 MHz („Mikrowellen-Therapie“) beschränkte, gibt es inzwischen eine Reihe von Publikationen, die in der Frequenz noch eine Zehnerpotenz höher gehen (Szabo et al. 2003). Entscheidend ist dabei natürlich immer, welches Organ man mit diesen Feldern erreichen will, denn im Mikrowellen-

bereich ist die Eindringtiefe der Felder bekanntermaßen nicht groß. Allerdings werden auch bereits Applikatoren getestet, die als Katheter in den Körper eingeführt werden können.

Auf diesem Gebiet verbindet das Problem der Dosimetrie Klinik und Umweltschutz. Es ist genaue Kenntnis des Impedanzverhaltens des Gewebes erforderlich und die Möglichkeit, die Feld-Verteilung in heterogenen Dielektrika mit schnellen Computern zu berechnen, um diese Therapiemethoden sinnvoll einzusetzen. Bedenkt man andererseits die Häufigkeit und Unbedenklichkeit des Einsatzes dieser Verfahren auch bei relativ leichten Erkrankungen von Gelenken oder selbst bei infektiösen Erkrankungen, wo auch ein warmer Umschlag wirksam wäre, so ist natürlich zu fragen, ob nicht auch hier eine Diskussion um „nicht-thermische“ Nebeneffekte angesagt sei. Immerhin sind die hier applizierten SAR-Werte weit höher als beim Telefonieren mit einem Handy!

In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass ein möglicher Einfluss hochfrequenter Felder auf die Blut-Hirn-Schranke nicht nur im Zusammenhang mit dem Mobilfunk diskutiert wird, sondern auch medizinisch interessant ist. So denkt man daran, durch einen Diathermie-Effekt ein künstliches Fieber zu erzeugen und damit die Bluthirnschranke vorübergehend für Pharmaka gezielt zu öffnen (Lin et al. 98). Allerdings sind hier ebenfalls stärkere Felder erforderlich, als beim Telefonieren mit einem Handy auftreten.

Fasst man diese gedrängte Übersicht zusammen, so kommt man zu dem Schluss, das es neben dem leider florierenden Geschäft der Scharlatane viele Möglichkeiten therapeutischer Nutzung elektrischer und elektromagnetischer Felder gibt. Man könnte sogar kühn formulieren: Die Zukunft der Elektro-Magneto-Therapie liegt noch vor uns. Dies erfordert jedoch noch intensive und sorgfältige Grundlagenforschung, die tatsächlich weltweit auch betrieben wird. Im Sinne der Forschungsökonomie sollten Projekte des Umweltschutzes weit stärker mit jenen kommunizieren, die auf die Entwicklung diagnostischer oder therapeutischer Verfahren ausgerichtet sind.

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

Literatur:

- Akai, M. and Hayashi, K.: Effect of electrical stimulation on musculoskeletal systems; A meta-analysis of controlled clinical trials. *Bioelectromagnetics* 23 (2002) 132-143.
- Barrett S: Magnet Therapy. <http://quackwatch.org/04ConsumerEducation/QA/magnet.html> (2003).
- Berger PL: Sehnsucht nach Sinn. Glauben in einer Zeit der Leichtgläubigkeit. Campus Verlag, Frankfurt/New York (1994).
- Brown, C. S., Ling, F. W., Wan, J. Y., and Pilla, A. A.: Efficacy of static magnetic field therapy in chronic pelvic pain: A double-blind pilot study. *Am. J. Obstetrics and Gynecology* 187 (2002) 1581-1587.
- Caselli MAeal: Evaluation of magnetic foil and PPT insoles in the treatment of heel pain. *J. Americ. Podiatric Medical Association* (1997) 11-16.
- Collacott, E. A.: Are magnets effective for pain control? Reply. *JAMA Journal of the American Medical Association* 284 (2000) 566.
- CraaneVanHinsberg IWHM, Verhoef JC, Spies F, et al: Electroperturbation of the human skin barrier in vitro .2. Effects on stratum corneum lipid ordering and ultrastructure. *Microscopy Research and Technique* 37 (1997) 200-213.
- Edwards H: Radionics, good for everything. *Australian Skeptics* (www.skeptics.com.au/journal/raionics.htm) 13 (2003)
- Foster KR: Herman P. Schwan: A scientist and pioneer in biomedical engineering. *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 4 (2002) 1-27.
- Foster KR: Herman P. Schwan und die Expositionsgrenzwerte für Mikrowellenstrahlung. *Naturwiss. Rundschau* 55 (2002) 638-645.
- Fricker, J.: Drugs with a magnetic attraction to tumours. *Drug Discovery Today* 6 (2001) 387-389.
- Ginsberg AJ: Ultrashort radiowaves as a therapeutic agent. *Med. Report* 140 (1934) 651-653.
- Glaser R: Biophysik, 4. Aufl. Spektrum - Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart (1996), Biophysics. Springer, Berlin Heidelberg New York. 2000.
- Grahn, J. C., Reilly, D. A., Nuccitelli, R. L., and Isseroff, R. R.: Melanocytes do not migrate directionally in physiological DC electric fields. *Wound Repair and Regeneration* 11 (2003) 64-70.
- Hill, A. C., Davey, N. J., and Kennard, C.: Current orientation induced by magnetic stimulation influences a cognitive task. *Neuroreport* 11 (2000) 3257-3259.
- Hong CZ, Bender JC, Schaeffer JN, et al: Magnetic necklace: its therapeutic effectiveness on neck and a shoulder pain. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 63 (1982) 462-466.
- Hung CT, Allen FD, Pollack SR, et al: What is the role of the convective current density in the real-time calcium response of cultured bone cells to fluid flow? *J. Biomech.* 29 (1996) 1403-1409.
- Jacobson JI, Gorman R, Yamanashi WS, et al: Low-amplitude extremely low frequency magnetic fields for the treatment of osteoarthritic knees: a double-blind clinical study. *Altern. Ther. Health Med.* 7 (2001) 54-64, 66-69.
- Krassowska, W., Nanda, G. S., Austin, M. B., Dev, S. B., and Rabussay, D. P.: Viability of cancer cells exposed to pulsed electric fields: The role of pulse charge. *Ann. Biomed. Engin.* 31 (2003) 80-90.
- Krotz, F., deWit, C., Sohn, H. Y., Zahler, S., Gloe, T., Pohl, U., and Plank, C.: Magnetofection - A highly efficient tool for antisense oligonucleotide delivery in vitro and in vivo. *Molecular Therapy* 7 (2003) 700-710.
- Lin JC, Yuan PMK, Jung DT: Enhancement of anticancer drug delivery to the brain by microwave induced hyperthermia. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 47 (1998) 259-264.
- Man, D., Man, B., and Plosker, H.: The influence of permanent magnetic field therapy on wound healing in suction lipectomy patients: A double-blind study. *Plastic and Reconstructive Surgery* 104 (99) 2261-2266.
- McLean MJ, Engström S, Holcomb RR, et al: Magnetotherapy: potential therapeutic benefits and adverse effects. Floating Gallery Press, New York (2003).
- Nakamura, M., Decker, K., Chosy, J., Comella, K., Melnik, K., Moore, L., Lasky, L. C., Zborowski, M., and Chalmers, J. J.: Separation of a breast cancer cell line from human blood using a quadrupole magnetic flow sorter. *Biotechnology Progress* 17 (2001) 1145-1155.
- Needham J: Wissenschaftlicher Universalismus. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, Frankfurt a.M. (1979).
- Paracelsus: Vom eigenen Vermögen der Natur. Frühe Schriften zur Heilmittellehre. Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt a.M. (1988).
- Plank, C., Scherer, F., Schillinger, U., Bergemann, C., and Anton, M.: Magnetofection: Enhancing and targeting gene delivery with superparamagnetic nanoparticles and magnetic fields. *J. Liposome Res.* 13 (2003) 29-32.
- Rajewsky B: Biophysikalische Grundlagen der Ultrakurzwellen-Wirkung im lebenden Gewebe. in: B. Rajewsky (Hrsg.) Ultrakurzwellen in ihren medizinischen-biologischen Anwendungen, G. Thieme, Leipzig (1938).
- Schmidt-Rohlfing B, Silny J, Niethard FU: Pulsierende elektromagnetische Felder in der Behandlung von Verletzungen und Erkrankungen der Bewegungsorgane - Eine Übersicht und Metaanalyse. *Z. Orthop.* 138 (2000) 379-389.
- Segal N, Huston J, Fuchs H, et al: efficacy of a static magnetic device against knee pain associated with inflammatory arthritis. *J. clin. Rheumatol.* 5 (1999) 302-304.
- Szabo, I., Manning, M. R., Radzlevsky, A. A., Wetzell, M. A., Rogers, T. J., and Ziskin, M. C.: Low power millimeter wave irradiation exerts no harmful effect on human keratinocytes in vitro. *Bioelectromagnetics* 24 (2003) 165-173.
- Unschuld PU: Medizin in China. Verlag C.H.Beck, München (1980).
- Vallbona C, Hazlewood cF, Jurida G: Response of pain to static magnetic fields in postpolio patients: A double blind pilot study. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 78 (1997) 1200-1203.
- Wang, E. T., Zhao, M., Forrester, J. V., and McCaig, C. D.: Electric fields and MAP kinase signaling can regulate early wound healing in lens epithelium. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 44 (2003) 244-249.
- Wasiak, J. and Anderson, J. N.: Do magnets alleviate chronic low-back pain? *Medical J. Australia* 174 (2001) 659.
- Weintraub M: Chronic submaximal magnetic stimulation in peripheral neuropathy: is there a beneficial therapeutic relationship? *Am. J. Pain Manage.* 8 (1998) 9-13.
- Weintraub M: Magnetic biostimulation in painful peripheral neuropathology: a novel intervention - a randomized, double-blind crossover study. *Am. J. Pain Manage.* 9 (1999) 8-17.
- Winemiller MH, Billow RG, Laskowski ER, et al: Effect of magnetic vs sham-magnetic insoles on plantar heel pain: A randomized controlled trial. *JAMA* 290 (2003) 1474-1478.
- Yasuda I: Piezoelectricity of living bone. *J. Kyoto Pref. Univ. Med.* 53 (1953) 325.
- Yen Y, Li JR, Zhou BS, et al: Electrochemical treatment of human KB cells in vitro. *Bioelectromagnetics* 20 (1999) 34-41.
- Zhang DJ, Cowin SC, Weinbaum S: Electrical signal transmission and gap junction regulation in a bone cell network: A cable model for an osteon. *Ann. Biomed. Eng.* 25 (1997) 357-374.
- Zhao, M., Song, B., Pu, J., Forrester, J. V., and McCaig, C. D.: Direct visualization of a stratified epithelium reveals that wounds heal by unified sliding of cell sheets. *FASEB Journal* 17 (2003) 397-406.