

Magneto-Medizin

Autor(en): **Ludwig, H. W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **75 (1984)**

Heft 15

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904436>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Magneto-Medizin

H.W. Ludwig

Die Anwendung von Magnetfeldern in der Medizin befindet sich in Entwicklung. Zur Diagnose werden Magnetfelder eingesetzt bei der Kernspin-Computertomographie und der topischen Kernspin-Spektroskopie. Bei der Magnetoencephalographie werden die magnetischen Felder am Kopf gemessen. Zur Therapie werden pulsierende Magnetfelder eingesetzt, neuerdings kombiniert mit Elektronen-Plasmaresonanzen. Über diese Plasmaschwingungen wurde bisher noch wenig veröffentlicht.

L'utilisation des champs magnétiques en médecine connaît un développement fulgurant. Les champs magnétiques sont utilisés pour l'établissement d'un diagnostic dans la tomographie à résonance magnétique nucléaire et dans la spectroscopie à résonance magnétique topique. Lors d'une encéphalographie magnétique, les champs magnétiques sont mesurés à la tête. On utilise des impulsions de champs magnétiques pour une thérapie et depuis peu on les combine avec des résonances plasmiques à électrons. Seulement un petit nombre de publications existent sur ces vibrations du plasma.

Adresse des Autors

H. W. Ludwig, Dr. rer. nat., Silberstrasse 21, D-7240 Horb 1.

1. Einleitung

Die im folgenden vorgestellten Methoden belasten weder den Patienten noch das Personal mit Röntgenstrahlen und gestatten doch, in den Körper zu sehen; sie belasten auch nicht die Organe mit chemischen Mitteln und übertreffen dennoch die älteren Methoden sowohl in bezug auf ihre Diagnose- als auch auf ihre Therapiemöglichkeiten.

2. Historische Entwicklung medizinischer Diagnoseverfahren mit Hilfe von Magnetfeldern

Die Abkürzung NMR kommt aus dem Englischen und heisst Nuclear Magnetic Resonance, d.h. kernmagnetische Resonanz. Der Zürcher Prof. F. Bloch, seit 1936 an der Stanford University [1], und H. Purcell von der Harvard University [2] erhielten für deren Entdeckung 1952 den Nobelpreis für Physik. Im Jahre 1979 wurde dem Engländer G.N. Hounsfield [3] (Firma EMI, London) sowie dem Amerikaner A.M. Cormack [4] (Tufts University) für die Erfindung der Computer-Tomographie (CT) dieselbe Ehre, allerdings in Medizin, zuteil.

Die mathematischen Grundlagen für die Möglichkeit, beliebige Schnittbilder (griechisch tomos = Schnitt) des Inneren von Gegenständen und Patienten mittels Röntgenstrahlen zu erzeugen, wurden schon 1917 von dem Mathematiker J. Radon veröffentlicht [5]. Er stellte fest, dass ein dreidimensionales Objekt aus einer grossen (theoretisch unendlichen) Anzahl seiner Projektionen rekonstruiert werden kann. G.N. Hounsfield kannte jedoch diese Arbeit nicht. Lassen wir ihn selbst zu Wort kommen: «Vor längerer Zeit kam mir die Idee, dass ein Com-

puter in der Lage sein müsste, aufgrund zuvor gewonnener Messdaten ein Bild zu rekonstruieren. Diese Messdaten sollten mit Hilfe einer Röntgenquelle gewonnen werden, die einen Körper aus verschiedenen Winkeln schneidet. Es wurde mir bewusst, dass ich für diese Bildrekonstruktion Tausende von Messungen benötigen würde, um diese dann durch unzählige Gleichungen zu verknüpfen.»

Interessant ist, dass Wissenschaftler der Firma Siemens in Erlangen etwa zur selben Zeit an einem gleichen Projekt arbeiteten, es aber in der Schublade liegen liessen, weil sie eine Serienherstellung für zu aufwendig hielten; mussten doch 128 Werte 135mal gemessen und als 128×135-Matrix im Computer gespeichert werden. Da die entwickelten Gleichungen nicht linear unabhängig voneinander sind, würden tatsächlich sogar mehr als 128 Messungen nötig sein. Die Lösung des Gleichungssystems kann mittels Fouriertransformation oder durch ein Iterationsverfahren erfolgen, wobei die erstere wesentlich schneller ausgeführt werden kann (Rechenbeginn schon während der Messung). Durch mehrfache Versetzung des zu messenden Objektes kann ein ganzer Satz von Schnitten quer durch den menschlichen Körper gewonnen werden. Die Röntgenstrahlbelastung ist jedoch höher als bei einer gewöhnlichen Röntgenaufnahme.

Wegen der enormen Detailauflösung konnte die Firma EMI in kurzer Zeit mehr als tausend Röntgen-Computertomographen absetzen. Schon während dieser stürmischen Entwicklung kam P.C. Lauterbur in den USA auf den genialen Gedanken, die Blochsche Erfindung mit dem Tomographie-Verfahren zu verbinden [6], d.h. durch Ausnutzen von Kernspinresonanzen Schnittbilder ohne Röntgenbelastung zu erzeugen.

3. Kernspintomographie NMR-CT

Während die Röntgen-Computertomographie im wesentlichen die Elektronendichte im Körper misst (Streuung und Absorption der Röntgenstrahlen an den Atomhüllen), erfasst die Protonen-Resonanzmethode die Dichte der Wasserstoffkerne, und zwar im Körperwasser und in den Körperfetten, nicht jedoch in Makromolekülen und Knochen (wegen der zu starken Bindung der betreffenden Moleküle an die Umgebung).

Ohne auf Einzelheiten einzugehen, die in der Literatur nachgelesen werden können [7...12], soll noch erwähnt werden, dass ausser der Protonendichte, die in jedem spezifischen Gewebe, insbesondere auch in Tumoren, eine andere ist, noch weitere Grössen wahlweise einzeln oder in Kombination mit dem Bild erfassbar sind, welche den NMR-CT ausserordentlich vielseitig einsetzbar machen. Während ein Röntgenbild als einzige Information die Elektronendichte enthält, liefert der NMR-CT neben der Atomkern-dichte noch zusätzliche Informationen aus den Relaxationszeiten und der Verschiebung der Resonanzfrequenz (chemische Verschiebung).

Für den Arzt ergeben sich damit faszinierende Möglichkeiten. Doch erfordert die Deutung solcher Schnittbilder eine neue Ausbildung. Die Bilder sehen zwar ähnlich aus wie Röntgenbilder und lassen sich mit Hilfe von Computern farbig darstellen (Falschfarbenbilder), doch für ihre Deutung muss man umdenken.



Fig. 1 TMR-Aufnahme des Armes

Die supraleitende Magnetspule wird durch flüssiges Helium gekühlt. Der äussere Kühlmantel wird einmal im Monat mit flüssigem Stickstoff beschickt.

4. Topische Kernresonanz-Spektroskopie TMR

Das von *F. Bloch* entwickelte Spektrometer wird heute weltweit in der physikalischen Chemie zur Struktur-aufklärung von Molekülen verwendet und ergänzt die bekannte Infrarot-Spektroskopie hervorragend. Nimmt man anstelle einer Probe den Menschen, z.B. einen Arm (Fig. 1), ein Bein oder den Rumpf, z.B. Beckenbereich, so lassen sich örtlich ansteuerbare Analysen am lebenden Menschen durchführen, ohne dass Blut- oder Gewebeproben entnommen werden müssen. So kann z.B. der Nierenstoffwechsel *in vivo* untersucht werden.

Bei der TMR werden keine zweidimensionalen Schnittbilder rekonstruiert, sondern wie bei der Kernresonanz-Spektroskopie in der physikalischen Chemie Spektren auf dem Monitorschirm abgebildet (Fig. 2) [13]. Die Analyse setzt Kenntnisse auf dem Gebiet der NMR-Spektroskopie voraus, in die sich heute bereits viele Ärzte einarbeiten.

TMR-Geräte sind heute kommerziell erhältlich. Eine internationale Gesellschaft für NMR in der Medizin wurde 1981 gegründet¹⁾. Sie gibt in zwangloser Folge Newsletters heraus.

Bei Ärzten taucht immer wieder die Frage auf, ob nicht die verwendeten statischen und wechselnden Magnetfelder einen (negativen) Einfluss auf den Menschen haben können. Auf diese Frage wird am Schluss eingegangen.

5. Magneto-encephalographie MEG

Mit dem bekannten Elektroencephalographen (EEG) werden kopfhautnahe elektrische Gehirnpotentiale registriert. Da Nervenzellen wegen der ständig fliessenden Aktionsströme auch Magnetwechselfelder aussenden, erfasst man mit einem MEG *in vivo* auch tiefere Gehirnschichten (z.B. vom Hirnstamm), also Neuland für die Medizin. Allerdings sind diese Signale äusserst schwach (Grössenordnung 10^{-14} Tesla). Derartig geringe Magnetwechselfelder (Frequenzbereich 0 bis 5 kHz) lassen sich nur mit sogenannten SQUID-Detektoren, nach ihrem Erfin-

¹⁾ Society of magnetic resonance in medicine, Inc. Mass. General Hospital, Boston, MA 02114, U.S.A.

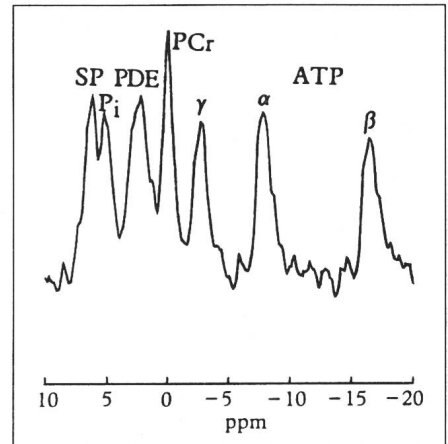


Fig. 2 TMR-Spektrum von Phosphor 31 im Gehirn

Induktion 1,9 Tesla, Messfrequenz 32,5 MHz

SP Zuckerphosphat

Pi anorganische Phosphate

PDE Phosphordiester

PCr Phosphorcreatinin

α, β, γ -ATP Adenosintriphosphat (α, β, γ bezeichnen die drei Phosphoratome im Molekül)

ppm parts per million (relative Variation der Messfrequenz)

der auch Josephson-Detektoren²⁾ genannt, messen, die mit flüssigem Helium gekühlt werden. Solche Detektoren, die einen magnetfeldabhängigen Tunneleffekt von Elektronen in supraleitenden Halbleitern ausnutzen, sind sehr empfindlich gegenüber Störfeldern bis in den UHF-Bereich, auch wenn nur im NF-Bereich gemessen wird. Daher ist der erforderliche magnetische Abschirmaufwand extrem hoch. Ob man allerdings, wie an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Berlin geschehen [14], μ -Metall verwenden muss, ist fraglich; die magnetische Anfangspermeabilität von magnetisch undurchlässigen Legierungen ist nicht nennenswert grösser als die des wesentlich preiswerteren Weicheisens. Durch Einsatz einer Störfeldkompensation entsprechend den Figuren 3 und 4 kommt man zudem mit einem um etwa 60 dB geringeren Abschirmfaktor aus [15].

Alle bisher erwähnten Verfahren sind relativ aufwendig und nur für Grossspitäler erschwinglich. Sie verbessern jedoch die Diagnose-Möglichkeiten ganz erheblich. Allerdings gibt es auch heute noch Ärzte, die durch einfachste klinische Untersuchungs-

²⁾ *B.D. Josephson*, Cambridge University, Nobelpreis für Physik 1973.

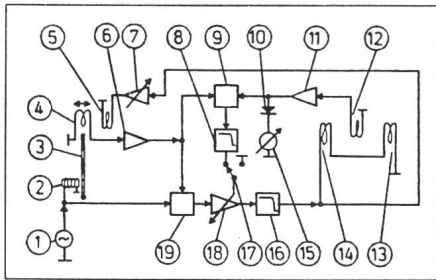


Fig. 3 Elektromagnetisches Störkompensationsgerät

Vereinfachtes Blockschaltbild (nur für eine Raumkoordinate)

- 1 Sinusgenerator (Frequenz oberhalb von 5 kHz)
- 2 Elektromagnet zur Erregung der mechanischen Vibration der Empfängerspule 4
- 3 Schwingfeder mit der Empfängerspule 4
- 4 Empfängerspule zur Aufnahme des magnetischen Störfeldes. Abstand zu den Helmholtzspulen etwa 1 m.
- 5 Hilfsspule zur Kompensation des Feldes der Helmholtzspulen in Nähe der Empfängerspule
- 6 Verstärker für das aufgenommene Störfeld
- 7 Abschwächer
- 8 Tiefpass 1 (obere Grenzfrequenz 5 kHz)
- 9 Lock-in-Verstärker 1 zur Verminderung des Restfeldes in Nähe des Patientenkopfes
- 10 Diode
- 11 Verstärker
- 12 Messspule zur Erfassung des Reststörfeldes
- 13, 14 Helmholtzspulen zur Kompensation des Störfeldes in Nähe des Patientenkopfes
- 15 Messinstrument zum Abgleich des Restfeldes
- 16 Tiefpass 2
- 17 Schalter
- 18 Verstärker
- 19 Lock-in-Verstärker 2: Das modulierte Stör-signal wird in diesem Verstärker mit Hilfe des Sinusgenerator-Ausgangssignals demoduliert.

methoden, vor allem aber durch die Inspektion (Hautturgor, Faltenbildung im Gesicht, Zungendiagnostik usw.) verblüffend sichere Befunde erheben.

Der junge Arzt von heute verlässt sich aber lieber auf Apparate, was ihn im übrigen bei Regressansprüchen im Falle des Vorwurfs eines Kunstfehlers besser absichert.

Während die heutige Medizin hervorragende Diagnosemöglichkeiten anbietet, sieht es mit der Therapie, und diese allein interessiert ja den Patienten, nicht so rosig aus. Wenn man für jede Erkrankung ein Medikament sucht, so ist dies eigentlich ein merkwürdig einseitiges Vorgehen; denn der Mensch besteht nicht nur aus Chemie, sondern ist vor allem ein kompliziert vermaschtes Gebilde aus kybernetischen Schaltkreisen, die durch elektromagnetische Vorgänge gesteuert werden, wie schon der russische Neurophysiologe *A.D. Speransky* erkannt und in vielen aufsehenerregenden Ex-

perimenten gezeigt hatte [16]. Diese Bemerkung führt zum Kapitel über physikalische Therapiemöglichkeiten, bei denen das Magnetfeld ebenfalls eine zunehmend bedeutende Rolle spielt.

6. Magnetfeldtherapie MFT

Über die Therapie mit pulsierenden Magnetfeldern wurde in dieser Zeitschrift bereits berichtet [17, 18]. Die Anwendung von Magneten in der Medizin ist sehr alt [19]. Dabei wurde natürlicher Magnetkieserstein nahe am Körper des Patienten bewegt, wobei nach dem Faradayschen Induktionsgesetz schwache Ströme im Gewebe induziert wurden. Tieffrequent schwankende Stromdichten in der Größenordnung von 10^{-8} A/cm² zeigen einen messbaren Reizeffekt auf pflanzliches, tierisches und menschliches Gewebe [20]. Es lag nahe, solche sich zeitlich ändernden Magnetfelder mittels wechselstromdurchflossenen Spulen auf den Körper zu übertragen [21]. Die Anwendung konzentrierte sich vorerst auf die Orthopädie, mit dem Ziel einer Beschleunigung der Knochenbruchheilung durch schnellere Callusbildung.

Erst spät wurde erkannt, dass bei der früheren Verwendung natürlichen Magnetkiesersteins ein anderer Wirkungsmechanismus ausschlaggebend für die Erfolge in der Inneren Medizin war, nämlich die via Magnetfeld in den Organismus eingeführten Plasmaresonanzen. Zur Erklärung muss etwas weiter ausgeholt werden.

In den letzten Jahren begannen sich die Physiker für ein Phänomen zu interessieren, das in der Atomspektroskopie lange Zeit kaum beachtet worden war: die Schwingungen der Atomkerne [22] und der Elektronenhüllen [23] in Atomen und Molekülen. Hierbei sind nicht hochenergetische Quantenübergänge gemeint, die im Falle der Elektronenhüllen zu Lichtemission führen. Wie jede Ladungswolke (Plasma) führen die Atomkerne und Elektronenhüllen von grösseren Atomen und Molekülen Schwingungen aus. Sie werden theoretisch mit dem sogenannten Tröpfchenmodell berechnet [22]. «Haufenförmige» Plasmen haben, ihrer Grösse und Ladungsdichte entsprechend, bestimmte Eigenresonanzen, die durch äussere Einflüsse, d.h. den Energieinhalt der Umgebung, ange-regt werden und auch bei sehr tiefen

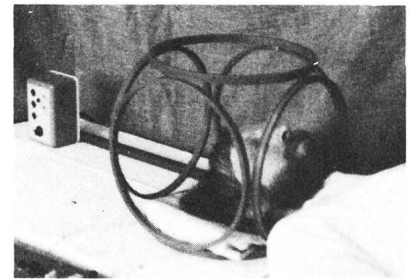


Fig. 4 Praktische Ausführung

Im Vordergrund um den Kopf des Patienten die drei Helmholtz-Spulenpaare.

Temperaturen noch messbar aktiv sind. Die Resonanzen der Kerne liegen in höheren Frequenzbereichen (Mikrowellen), während die Eigenwerte der Atom- und Molekülhüllen bis in den Kilohertz- und Hertzbereich hinunterreichen. Dabei kommen auch Schwebungsfrequenzen von Überlagerungen verschiedener Elektronenschalen zum Tragen. Kürzlich konnte man sogar die Plasmaschwingungen von Uranatomen in einer elektronenmikroskopischen Filmaufnahme im Fernsehen bewundern.

Mit Hilfe der Hochfrequenzspektroskopie hatte man schon in den fünfziger Jahren im GHz-Bereich die sogenannte Lamb-Verschiebung sehr genau messen können, eine Linienaufspaltung des Grundzustandes der Atomhüllen, also des tiefsten Energieniveaus [24]. Auch war bekannt, dass eine sehr geringe Linienverbreiterung des Grundzustandes von Atom- und Molekül-Elektronenhüllen einer oder mehreren sehr tiefen Frequenzen entspricht, die jedoch nicht weiter beachtet wurden [25]. Da jede schwingende elektrische Ladung elektromagnetische Wellen aussendet, lassen sich solche Resonanzen mit Hilfe eines Tieffrequenz-Spektrometers messen [23]. Am besten ist dies bei tiefen Temperaturen möglich, da dann die Brownsche Molekularbewegung, die sich als tieffrequentes thermisches Rauschen bemerkbar macht, nicht mehr stört. Bei Zimmertemperatur liegen die Plasmaschwingungen bei einigen Hertz Bandbreite etwa 40 dB unter dem Rauschpegel. Trotzdem reagiert der menschliche Organismus auf solche schwachen Signale [17; 26]. Um sie elektronisch zu messen, ist allerdings ein grösserer Aufwand erforderlich (Fig. 5, 6).

Über einen Differenzverstärker werden eine Proben- und eine Referenzküvette an einen Lock-in-Verstärker geschaltet (z.B. eine Lösung als Probe

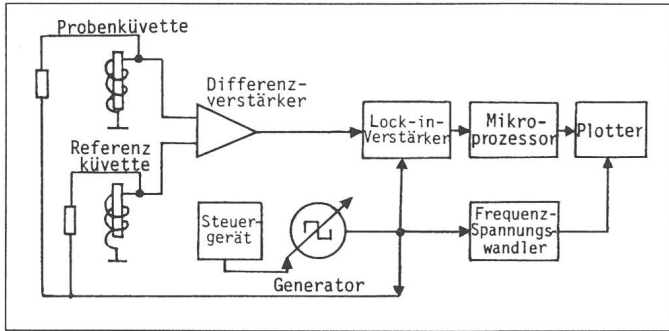


Fig. 5
Tieffrequenz-Plasma-Spektrometer

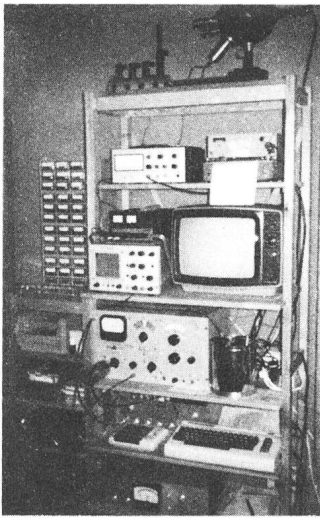


Fig. 6 Tieffrequenz-Plasma-Spektrometer im Versuchsaufbau

Eine Messung bei bekannter Plasmafrequenz dauert 1 min. Um statistisch signifikante Ergebnisse zu erhalten, sind 10 Messungen pro Frequenz notwendig.

und das reine Lösungsmittel als Referenzsubstanz). Die zu erwartenden Plasmaresonanzen werden vom gleichen Sinusgenerator angeregt und damit aus dem Rauschen gehoben, deren Lock-in-Verstärker steuert. Ein Steuergerät bewirkt den Frequenzvorschub des Sinusgenerators und steuert synchron einen Plotter, Monitor oder Drucker, der das vom Mikroprozessor über mehrere Messzyklen gemittelte Resonanzsignal (Differenz zwischen Probe und Referenzsubstanz) als Funktion der Frequenz festhält.

Aus Versuchen, die sich über ein Jahr erstreckten, folgt, dass bestimmte Spurenelementeinschlüsse in natürlichem Magnetkieserit charakteristische Plasmaresonanzen aufweisen, die mit schmalbandig abgestimmten Rezeptoren im Organismus in Resonanz treten. Durch Ionenimplantation ist es möglich, die gleichen Spurenelemente

im selben (natürlichen) Mischungsverhältnis, z.B. in Transformatorenblech, einzubringen. Dieses so vorbehandelte Eisenblech kann dann als Kern einer Therapiespule in einem Magnetfeld-Therapiegerät verwendet werden (Fig. 7).

Tatsächlich konnten mit dieser Methode seit einigen Jahren Erfolge in der Inneren Medizin erzielt werden. Durch die Vorbehandlung der ferromagnetischen Kerne werden mehr als 30 Plasmaschwingungen und deren Oberwellen angeregt. Zusätzlich lassen sich mehrere elektronisch erzeugte Frequenzen anwenden, die je nach Indikation am Steuerteil des Therapiegerätes einstellbar sind.

Bei Entzündungsprozessen, die in der Regel auf eine verminderte Abwehrlage zurückführbar sind, haben sich z.B. folgende Zusatzfrequenzen bewährt: 0,1 Hz, 1,2 Hz und 73 Hz mit Oberwellen bis 10 MHz (impulsförmiger Kurvenverlauf der Signale).

Wegen der grossen Einstellvariation und der nachgewiesenen Unterstützung der körpereigenen Abwehrkräfte ist der Indikationsbereich dieser heute als Indumed-Therapie bekannten Behandlungsart gross. Genauere Untersuchungen, die noch nicht abgeschlossen sind, legen nahe, dass auch andere Medikamentenwirkungen ebenfalls auf Plasmaresonanzen beruhen. Dies wird auch durch das Phänomen der elektronischen Medikamententestung, z.B. mit dem Test-Sender-Empfänger nach F. Morell, nahegelegt.

Die Indumed-Therapie wurde durch einen kontrollierten Doppelblindtest ärztlich und klinisch untersucht. Der Placeboeffekt (positive Wirkung von Scheingeräten, die Einbildungseffekte erfasst) lag bei 20%, die klinisch gesicherte Wirkungsquote je nach Indikation zwischen 75 und 100%.

Die jahrelangen Erfahrungen mit der Indumed-Therapie, deren Entwicklung bis zum Jahre 1963 zurück-

reicht, beantwortet auch die Frage, ob Magnetfelder für den Menschen schädlich sein können. Bei der NMR-Computertomographie und der topischen Magneto-resonanz-Spektroskopie kommen zum einen hohe statische Magnetfelder zur Anwendung, zum anderen pulsierende Steuerfelder im kHz- und MHz-Bereich. Thermische Effekte sind bei diesen sich über wenige Sekunden erstreckenden Diagnoseverfahren nicht zu erwarten und wurden auch nicht beobachtet. Während der Entwicklung der Indumed-Therapie an der Universität Freiburg i.Br. wurden beide Felder (statische und dynamische) in nahezu allen möglichen Frequenzbereichen im Tier- und Human-Langzeitversuch erprobt. Der Verfasser selbst setzte sich dabei ein Jahr lang tagsüber und nachts solchen Feldern aus und liess sich anschliessend eine Woche lang stationär in der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf gründlich untersuchen (einschliesslich aufwendiger Hormontests).

In keinem Fall wurde bei diesen Untersuchungen ein negativer Einfluss auf Tier oder Mensch festgestellt. Im Gegenteil, pulsierende Magnetfelder hatten, besonders mit passenden Frequenzen, einen positiven ausgleichenden Effekt im Sinne eines schwachen biotropen Reizes. Seit Anwendung der NMR-CT ist bis heute ebenfalls kein ungünstiger Einfluss bekannt geworden.

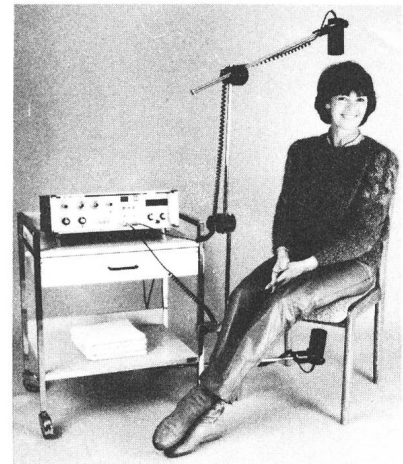


Fig. 7 Basistherapie mit Indumed-RLM

In den schwarzen zylinderförmigen Behandlungselementen befindet sich je eine Matrix aus neun Stab-Elektromagneten mit speziell vorbehandelten lamellierten Eisenkernen, die infolge ihrer Richtung eine über Dezimeter reichende gleichmässige magnetische Induktion erzeugen.

Literatur

- [1] *F. Bloch*: Nuclear induction. *Physical Review* 70(1946)-, p. 460...473.
- [2] *E.M. Purcell, H.C. Torrey* and *R.V. Pound*: Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Physical Review* 69(1946)-, p. 37...38.
- [3] *A.M. Cormack*: Representation of a function by its line integrals with some radiological applications. *Journal of applied Physics* 34(1963)9, p. 2722...2727 and 35(1964)10, p. 2908...2913.
- [4] *G.N. Hounsfield*: Computerized transverse axial scanning (tomography). I: Description of system. *British Journal of Radiology* 46(1973)-, p. 1016...1022.
- [5] *J. Radon*: Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. *Berichte über die Verhandlungen der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Mathematisch-physikalische Klasse* 69(1917), S. 262...277.
- [6] *P.C. Lauterbur*: Image formation by induced local integrations. Examples employing nuclear magnetic resonance. *Nature* 242(1973)5394, p. 190...191.
- [7] *Ch. Grathwohl*: Kernspintomographie. *Bull. SEV/VSE* 75(1984)15, S. 862...865.
- [8] *L. Kaufmann, E. Crooks* and *A.R. Margulis*: Nuclear magnetic resonance imaging in medicine. New York/Tokyo, Igaku-Shoin, 1981.
- [9] *F. Buchmann* and *J. Heinzerling*: NMR-Tomographie. *GIT-Labormedizin* 6(1983)-, S. 102...111.
- [10] *I.L. Pykett*: Kernspintomographie. Röntgenbilder ohne Röntgenstrahlen. *Spektrum der Wissenschaft* -(1982)7, S. 40...48.
- [11] *A. Ganssen* u.a.: Kernspintomographie. *Computertomographie* -(1981)1, S. 2...10.
- [12] *E. Stettler* und *J. Kestler*: Bildgebende Kernresonanz. *Kernspintomographie in der medizinischen Diagnostik. Funkschau* 54(1982)3, S. 43...48.
- [13] *R.E. Gordon, P.E. Hanley* and *D. Shaw*: Topic magnetic resonance. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy* 15(1982)1/2, p. 1...47.
- [14] *S.N. Erne* a.o.: The Berlin magnetically shielded room (BMSR). In: *Biomagnetism. Berlin/New York, W. de Gryter*, 1981; p. 72...88.
- [15] *W. Ludwig*: Fieldcompensation in magneto-encephalography as a means of saving electromagnetic shielding. *Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 1982*, 5...11 September, Hamburg; report 8.63.
- [16] *A.D. Speransky*: Grundlagen der Theorie der Medizin. 2. Auflage. Berlin, Saenger-Verlag, 1950.
- [17] *H.W. Ludwig*: Biologische Verträglichkeit elektromagnetischer Felder. *Bull. SEV/VSE* 68(1977)18, S. 941...946.
- [18] *H.W. Ludwig*: Neue elektromedizinische Diagnose- und Therapieverfahren. *Bull. SEV/VSE* 70(1979)17, S. 928...932.
- [19] *F.A. Volgyesi*: Die Seele ist alles. Von der Dämonologie zur Heilhypnose. 2. Auflage. Zürich, Orell-Füssli, 1967.
- [20] *M. Weigert*: Anregung der Knochenbildung durch elektrischen Strom. New York/Heidelberg/Berlin, Springer-Verlag, 1973.
- [21] *U. Evertz* und *H.L. König*: Pulsierende elektromagnetische Felder und ihre Bedeutung für die Medizin. *Hippokrates* 48(1977)1, S. 16...37.
- [22] *G.F. Bertsch*: Schwingungen der Atomkerne. *Spektrum der Wissenschaft* -(1983)7, S. 72...85.
- [23] *W. Langreder* und *W. Ludwig*: Die Indumet-Therapie. *Zeitschrift für Physikalische Medizin* 13(1984).
- [24] *W. Finkelnburg*: Einführung in die Atomphysik. 6. Auflage. Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1958.
- [25] *S. Tolansky*: Hyperfine structure in line spectra and nuclear spin. London, Methuen & Co./New York, Wiley, 1953.
- [26] *W. Ludwig*: Biophysikalische Diagnose und Therapie im ultrafeinen Energiebereich. *Erfahrungsheilkunde* 32(1983), S. 72...76, 131...134, 253...257, 325...329, 457...462, 700...705 und 33(1984), S. 36...38.