

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 18

Artikel: Biologische Verträglichkeit elektromagnetischer Felder

Autor: Ludwig, H. W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915065>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Elektrotechnik—Electrotechnique



Biologische Verträglichkeit elektromagnetischer Felder

Von H.W. Ludwig

613.168:577.352.5

Die Sektion «EMC and life» am 2. EMC-Symposium in Montreux 1977 wird zum Anlass genommen, einen Überblick über das Thema «Einfluss elektromagnetischer Parameter auf Lebewesen» zu geben. Es handelt sich hierbei um Arbeitsgebiete, die zunehmend Ärzte und Elektroniker gleichermassen beschäftigen werden. Nach einer Einleitung werden natürliche elektromagnetische Felder, die allgemeine Feldtheorie von B. Heim und das Problem der Placeboeffekte bei Personenversuchen kurz gestreift und anschliessend über die Vorträge in Montreux berichtet, die sich mit dem Einfluss nieder- und hochfrequenter Signale auf Pflanzen, Tiere und Menschen beschäftigten.

Le 2^e Symposium de la CEM, à Montreux, en 1977, comprenait une Section «CEM et vie», ce qui donne à l'auteur l'occasion de présenter un aperçu de l'influence des paramètres électromagnétiques sur les êtres vivants, domaine qui occupera de plus en plus les médecins aussi bien que les électroniciens. Après une introduction, l'auteur aborde brièvement les champs électromagnétiques naturels, la théorie générale des champs de B. Heim et le problème des effets Placebo lors d'essais sur des individus. Puis il rend compte des conférences tenues à Montreux, qui traitaient de l'influence des signaux à basses et à hautes fréquences sur les plantes, les animaux et les personnes.

1. Einleitung

Auf dem 2. Symposium «Electromagnetic Compatibility» (EMC) vom 28. bis 30. Juni 1977 in Montreux erschien zum erstenmal das Thema «EMC and life». Die folgenden zu diesem Thema angemeldeten Vorträge behandelten je ein ausgewähltes Spezialgebiet.

H.B. Graves, The Pennsylvania State University (USA): Biological effects of high intensity, low frequency electric fields.

J. Bigu del Blanco, Queen's University, Kingston (Cdn): Some special applications of microwave radiometry of biological systems.

G. d'Ambrosio, V. La Manna, Università di Napoli (I): Perception of static fields by living organisms and teratogenic effects of microwaves.

H.W. Ludwig, Tübingen (BRD): Compatibility of weak magnetic ELF fields.

G.W. McKee, D.P. Knievel, Pennsylvania State University, D.T. Poznaniak, J.W. Bankoske, Westinghouse Electric Co., Pittsburgh (USA): Effect of 60 Hz high intensity electric fields on living plants.

H.J. Bisping, W. Irnich, TH Aachen, S. Schroer, Deutsches Teppich-Forschungsinstitut e.V., Aachen (BRD): Influence on Implanted cardiac pacemakers by electronic sensor switches and electrostatic dischargers.

R.J. Hoff, McDonnell-Douglas Co., St. Louis (USA): An EMC standard for medical electronic devices.

Zunehmende Umweltbelastung des Menschen rückt die Frage einer okkulten, d.h. nicht sofort erkennbaren Schädigung durch technischen Stress und «Mikrostress» [1]¹⁾ in den Vordergrund wissenschaftlicher Diskussionen. Andererseits eröffnen neue Erkenntnisse medizinische Behandlungsmethoden, also positiv nutzbare Therapien, die geringere Versagerquoten und weniger unerwünschte Nebenwirkungen als che-

mische Medikamente (Allopathika) haben [2; 3]. Die häufig vorgebrachte Meinung, der (scheinbar) schadlose beliebig lange Aufenthalt in der Nähe starker E- oder H-Felder bzw. leistungsstarker Sender zeige die Wirkungslosigkeit der sog. *Technics*, ist vom medizinischen Standpunkt aus unhaltbar, da sich adaptionsfähige biologische Systeme ähnlich wie Verstärker verhalten können, die sehr schwache Signale einwandfrei weitergeben, bei grosser Übersteuerung in nichtlineare Bereiche jedoch völlig blockieren («zustopfen») können, so dass keinerlei Ausgangssignal mehr feststellbar ist. Ein einfaches biologisches Beispiel hierfür ist der sehr starke Muskelreflex beim leichten Kitzeln (z.B. der Fußsohle), dem ein sehr geringer oder gar kein Reflex bei Anwendung grösserer Kräfte (kräftiges Drücken oder Reiben) gegenübersteht.

Neben *Technics* spielt ein grosses Spektrum natürlicher elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder eine wesentliche biologische Rolle, weshalb zunächst hierüber kurz berichtet werden soll.

2. Natürliche elektromagnetische Felder und mögliche biologische Reaktionen

Fig. 1 zeigt stilisiert die wichtigsten natürlichen Felder, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Die Beziehungen dieser Wellen bzw. Felder zu biologischen Systemen werden hergestellt durch quasi-resonanzfähige Medien im Organismus:

- ULF- und ELF-Frequenzen im Zentralnervensystem höherer Lebewesen (Gehirnwellen [4])
- VLF-Debyeresonanzen kristallin-flüssiger Phasen (Zellmembranen [5]), LF- bis Mikrowellen-Debye-Resonanzen kolloidaler Phasen (intra- und extrazelluläre Flüssigkeiten)
- IR-Resonanzen organischer Moleküle

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Bei höheren Frequenzen kommen Prozesse in den Atomhüllen und schliesslich in den Atomkernen hinzu (intensive ionisierende Strahlung).

In allen Frequenzbereichen ist zu unterscheiden zwischen schwachen Feldern, für die man Ansprechschwellen in höheren Organismen angeben kann, und starken Feldern, die energetische Prozesse auslösen. Für die niederfrequente elektrische Wechselfeldstärke liegt die Ansprechschwelle von Säugetieren und Menschen bei einigen zehn mV/m [6], für niederfrequente magnetische Wechselfelder bei ca. 30...50 mA/m bzw. ca. 40...60 gamma [7; 8]. Ist die relative magnetische Permeabilität nahe eins, so gilt:

$$1 \text{ gamma} = 10^{-9} \text{ Tesla} \triangleq 8 \cdot 10^{-4} \text{ A/m}$$

Gegenüber ebenen Wellen ist das Auge der empfindlichste Rezeptor, der (dunkeladaptiert) schon ca. 100 Photonen erkennen kann [9]. Dies entspricht im sichtbaren Spektrum (Wellenlänge 0,5 µm) einer Leistung von $\approx 4 \cdot 10^{-17} \text{ W}$. Solche schwachen Signale haben lediglich einen Informationsgehalt. Das bedeutet, dass auf rein kybernetischem (vorzugsweise nicht energetischem) Wege Regelmechanismen im Organismus beeinflusst werden können. Die Wirkung schwacher Wellen beruht u.a. auf Triggereffekten.

Anders verhält es sich mit Feldstärken, die dem Organismus so grosse Leistungen zuführen, dass Energieumwandlungen (im allg. in Wärme) wirksam werden.

Beide Möglichkeiten können schädigende Wirkungen haben (Mikrostress bei schwachen Feldern [1], Genschäden usw. bei sehr starken Feldern), andererseits aber auch therapeutisch nutzbar gemacht werden (Magnetfeldtherapie im Bereich von 10^{-7} T [2; 3], Mikrowellentherapie mit stärkeren Feldern, Strahlentherapie mit sehr starken Feldern oder Korpuskularstrahlen). Während die Wirkung starker Felder ausführlich untersucht ist, bestehen über die Wirkung schwacher Felder noch weitgehende Unkenntnis und Unklarheit.

Die heute vorliegende allgemeine Feldtheorie des theoretischen Physikers Burkhard Heim [10; 11] bringt zwar Klarheit in dieses Gebiet, kann aber ohne profunde Kenntnisse auf den Disziplinen der Quantenphysik und allgemeinen Relativitätstheorie nur andeutungsweise verständlich gemacht werden. Die Tatsache, dass man es bei «EMC and life» nicht mit Maschinen zu tun hat, erfordert eine tiefergehende Betrachtung, die im folgenden Abschnitt nur angerissen werden kann.

3. Konsequenzen aus der allgemeinen Feldtheorie

Eine von Einstein vergeblich gesuchte allgemeine Feldtheorie, die sämtliche mikro- und makrokosmischen Phänomene einheitlich zusammenfasst, also z.B. auch die Maxwell'sche Theorie als Spezialfall mit enthält, wurde durch eine geniale Grundidee von B. Heim, dem Leiter des Forschungsinstitutes für Kraftfeldphysik und allgemeine Kosmologie (deutsche Sektion des europäischen Zentrums für Gravitationsforschung, Rom) konzipiert und in jahrzehntelanger Arbeit bis zur vollständigen Lösung ausgearbeitet. Die erste Veröffentlichung darüber erschien 1975 [11]. Die Grundidee besteht darin, ein physikalisches Phänomen zum Ausgangspunkt zu nehmen, das allen Teilchen und Wellenquanten gleichermassen zukommt: die Trägheit. Ausgangsgleichungen waren lediglich vier der Natur abgelesene Grundgesetze der Physik, die notwendige Voraussetzungen für die Existenz eines über Jahre quasistabilen Weltalls sind. Würde z.B. das Braun-Le

Chateliersche Prinzip der Flucht vor dem Zwang nicht gelten, so müsste der Kosmos explodieren und sich in eine Gaswolke auflösen. Aufgrund der Gesetze der Raumgeometrie in ihrer allgemeinsten Form (nichteuclidische Geometrie) gelangte B. Heim zu einem System von 64 nichtlinearen tensoriellen Differentialgleichungen, die als Folge der Weylschen Raumzeitgeometrie auf 36 Gleichungen reduziert werden können. Nach mathematischen Prinzipien führt dies zu einer sechsdimensionalen Welt mit drei reellen Raumkoordinaten x_1, x_2, x_3 und drei imaginären Koordinaten x_4, x_5, x_6 . Hierbei ist $x_4 = -jct$ die mit der Lichtgeschwindigkeit multiplizierte Zeitachse in Übereinstimmung mit Einstein, Minkowsky usw.

Für das hier behandelte Thema ist es wichtig, dass sich x_5 als eine Koordinate der Wechselwirkungszustände und ihrer Änderungen ergibt, die Ordnungszustände (mould forces [12]) erfasst und dass es möglich ist, diese Achse auf biologische Systeme anzuwenden. Die meisten bekannten Phänomene kann man jedoch auch innerhalb des vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuums R_4 verstehen. Dies beruht auf Wechselwirkungen

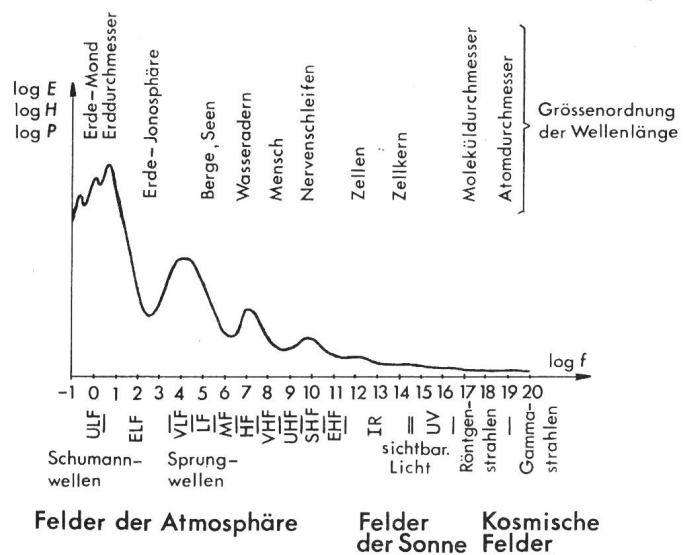


Fig. 1 Beispiel für ein momentanes Fourierspektrum des natürlichen Feldes

f Frequenz in Hz
 E elektrische Feldstärke pro Frequenzdekade
 H magnetische Feldstärke pro Frequenzdekade
 P elektrische Feldstärke einer Planwelle (ebene Welle)

Die nicht angegebenen Skalen der Ordinate sind so zu verstehen, dass sich elektrische und magnetische Feldstärke etwa decken, was natürlich nicht erfüllt ist, doch die Abbildung sollte nicht zu unübersichtlich werden.

Schumannwellen sind Hohlraumresonanzen des Systems Erdoberfläche-Ionosphären (TM-Wellen). Dieser Hohlraumresonator wird elektrisch durch Blitze und magnetisch durch Vorgänge in der Sonne angeregt.

Sprungwellen entstehen durch Blitzentladungen in der Atmosphäre (täglich treten etwa 3000 Gewitter auf). Ihre Ausbreitung wird modifiziert zu sogenannten «Atmospherics» durch den Wellenleiter Erdoberfläche-Ionosphäre.

Wellen mit Frequenz oberhalb des MHz-Gebietes stammen hauptsächlich von Gebieten ausserhalb der Ionosphären, d.h. von der Sonne, von unseren und anderen Galaxien.

ULF ultra low frequencies (0-3 Hz)
 ELF extremely l.f. (3 Hz-3 kHz)
 VLF very l.f. (3 kHz-30 kHz)
 LF low f. (30 kHz-300 kHz)
 MF median f. (300 kHz-3 MHz)
 HF high f. (3 MHz-30 MHz)
 VHF very h.f. (30 MHz-300 MHz)
 UHF ultra h.f. (300 MHz-3 GHz)
 SHF specially h.f. (3 GHz-30 GHz)
 EHF extremely h.f. (30 GHz-300 GHz)

zwischen den in x_5 -Richtung liegenden Parallelwelten mit unserem R_4 . Die Wechselwirkung elektromagnetischer Felder bestimmter Muster mit biologischen Systemen spielt sich aber in Wahrheit auf der x_5 -Koordinate ab und wird vom Menschen in deren Schnitt mit dem R_4 festgestellt. Am Rande sei erwähnt, dass die 6. Koordinate des R_6 die x_5 -Strukturen in x_4 -Richtung steuert und die Existenz einer dritten Seinsschicht belegt.

Die Berechnungen, die aus dieser allgemeinen Feldtheorie fließen, zeigen eine Übereinstimmung zwischen Theorie und Messwerten bis zur Grenze der Messgenauigkeit (8 Dezimalstellen). So ergeben sich sämtliche Eigenschaften bekannter Elementarteilchen in voller Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Hochenergiephysik. Die Theorie der sogenannten schwarzen Löcher, die ebenfalls zur Existenz von Parallelwelten führt, ist in der neuen Theorie überflüssig.

Die Wirkung elektromagnetischer Wellen auf Organismen lässt sich mit dieser Theorie von einer höheren Warte aus betrachten und berechnen. Insbesondere lassen sich die heute beobachtbaren biologischen Effekte mit schwachen Feldern, der Homöopathie (Potenzierungsmethoden) und Medikamententestung sowie der davon unabhängigen Placebowirkungen, d.h. der eingebildeten Scheinwirkungen, im R_6 erklären. Eine solche Betrachtung mag für den Elektroniker ungewöhnlich erscheinen, doch muss betont werden, dass es sich hierbei um völlig exakte Berechnungen handelt, die keinerlei willkürliche Annahmen oder Voraussetzungen (ausser dem der zeitlichen Quasistabilität des Weltalls) enthalten.

4. Echte und eingebildete Wirkungen auf Organismen

Bei Versuchen an Pflanzen, Tieren und Menschen ist zu berücksichtigen, dass die Versuchsanordnung als solche schon *ohne* eingeschaltetes Versuchsfeld (E, H , ebene Welle) eine Sondersituation darstellt, die bei höheren Organismen Stress erzeugen kann und das Messergebnis beeinflusst. Eine Übertragung von Ergebnissen an Pflanzen und Tieren auf den Menschen ist nur sehr bedingt, wahrscheinlich sogar in keinem Fall wirklich nutzvoll möglich [13]. Je nach Fragestellung wird man also sinnvollerweise nur an denjenigen Spezies Versuche anstellen, deren Verhalten in natürlichen oder künstlichen Feldern von Interesse ist. Im Gegensatz zu Medikamenten ist dies bei schwachen Feldern gefahrlos möglich, natürlich stets mit Einverständnis der Versuchspersonen.

Die anschliessend referierten Vorträge des 2. EMC-Symposiums betrafen den Einfluss von Feldern auf Pflanzen, Insekten (Larven), Vögel, Kleinsäuger und den Menschen. Zuvor soll die besondere Problematik bei Personenversuchen behandelt werden.

Aus einer intensiven Beschäftigung mit der allgemeinen Feldtheorie folgt, dass eine Beeinflussung organischer Prozesse im Menschen auf vielfältige Weise praktikabel ist:

- innerhalb der physischen Seinsschicht (d.h. im R_4), mittels chemischer und physikalischer Methoden;
- über die 2. Seinsschicht (die 5. Dimension, z.B. Potenzierungsmethode);
- über die 3. Seinsschicht (die 6. Dimension, z.B. Psychotherapie) und
- über Auto- und Fremdsuggestion (4. Seinsschicht).

Bei einer ungewöhnlichen Heilung können alle vier Möglichkeiten eine Rolle spielen. Beispielsweise ist es bekannt, dass die natürliche Feldstärke in der Nähe von Wasserquellen in

bestimmten Frequenzbereichen sehr stark erhöht ist [14]. Ob bei «Wunderheilungen» die Chemie des Wassers, das örtliche Impulsmuster natürlicher elektromagnetischer Felder, eine seelische Umstimmung oder der felsenfeste Glaube einzeln oder zusammen gewirkt haben, lässt sich praktisch nicht trennen. Eines der Verfahren, hier Klarheit zu schaffen, ist der wiederholte Versuch mit Scheingeräten oder Scheinmedikamenten, sog. Placebos, und zwar ohne Wissen des Patienten und ohne Wissen des Versuchsoperators bzw. Arztes (Doppelblindversuche). Experimente mit Feldern können völlig ohne Wissen der Testperson durchgeführt werden, so dass die Person nicht einmal merkt, ob ein besonderer Versuch mit ihr durchgeführt wird. Beispielsweise kann ein Patient zu EEG-Routineaufnahmen mehrfach einbestellt werden, um eine Diagnose auf Migräne zu sichern. Bei einigen dieser Aufnahmen kann ohne Wissen des Patienten unauffällig ein magnetisches Wechselfeld in Kopfnähe ein- und ausgeschaltet werden. Bei einer messbaren Veränderung im EEG können hierbei die geschilderten Effekte über höhere Seinsschichten ausgeschlossen werden [7].

Auf diese Weise lässt sich nachweisen, ob ein Verfahren echt wirksam ist oder nicht, und man kann sich an die Ansprechschwelle des Organismus versuchsweise herantasten. So wurden auch die erwähnten Schwellwerte ermittelt [6; 7; 8]. Diese Bemerkungen mögen genügen und erschienen notwendig, um die Versuche, die im folgenden referiert werden, richtig würdigen zu können.

5. Biologische Wirkungen des elektrischen Feldes

Die Frage, ob elektrostatische Felder eine Wirkung auf Lebewesen haben, ist wiederholt diskutiert und in der Mehrzahl der Fälle angezweifelt worden [15]. Allenfalls gibt man eine Wirkung dadurch zu, dass sich Lebewesen bewegen (z.B. aufgrund der bekannten mechanischen 10-Hz-Vibration des Menschen [16]) und somit ein Wechselfeld entsteht. *G. d'Ambrosio* berichtete in Montreux über eine Versuchsreihe, die er mit *V. La Manna* durchführte und bei der ein Vektorgradientenfeld verwendet wurde, das in einem Käfig mit Mehlwürmern ortsabhängig in drei Tests von 30...100 bzw. 100...300 und 300...900 V/m anstieg. Der 1. Test ergab keine Abweichungen vom Null-Referenzfeld, beim 2. und 3. Test bewegten sich die Mehlwürmer innerhalb von 2 h mehr in Richtung des schwächeren Feldteiles, mieden also hohe Feldstärken.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um Wirkungen mechanisch hervorgerufener Wechselfelder oder um Restwelligkeit der Hochspannungsquelle handelt, sind doch schwache Wechselfelder viel stärker wirksam als statische Hochspannungsanordnungen [17].

Dass schwache elektrische Impulsentladungen einen Einfluss auf Herzschrittmacher haben, wurde von *H. J. Bisping*, *W. Irnich* und *S. Schoer* vorgetragen. Obwohl es sich hier nicht um direkte Beeinflussung von Lebewesen handelt, ist es doch bemerkenswert, dass Kleinentladungen beim Berühren geerdeter Teile nach elektrostatischer Aufladung an Teppichböden selbst dann noch vorhofgesteuerte Herzschrittmacher beeinflussen können, wenn man keinerlei elektrischen Schlag verspürt.

Interessant ist weiter, dass kapazitive Sensortasten, wie sie heute in Aufzügen und an Fernsehern usw. verwendet werden, bis zu Körperströmen von 20 μA , die über die Hand nach

Erde abfließen, ungefährlich sind und dass bereits 1 μA für einwandfreies Schalten ausreicht. Jedoch sind zahlreiche Sensortasten im Handel, die bis zu 380 μA erfordern. Ab 25 μA werden vorhofgesteuerte Herzschrittmacher (und das sind mehr als 90 % aller Schrittmacher) beeinflusst, weshalb die Autoren fordern, dass diese Schalter nicht mehr eingebaut werden sollten.

Ebenfalls nur mittelbar zum Thema «EMC and life» gehörte der Vortrag von R.J. Hoff über Messungen mit einem Frequenzanalysator in zehn Spitälern und zwei Notarztwagen. Der für den einwandfreien Betrieb medizinischer Geräte zulässige Störpegel wurde im Frequenzbereich von 10 kHz bis 1 GHz bestimmt. Als zulässig wurden 130 dB über 1 $\mu\text{V/m}$ und MHz angegeben. Diese Grenze wird von HF-Chirurgiegeräten überschritten, ein den Medizintechnikern bekanntes Problem, zumal es bei Herzoperationen wünschenswert wäre, ein EEG zur indirekten Überwachung des Blutsauerstoffes im Gehirn zu schreiben.

Zwei Vorträge befassten sich mit 60-Hz-Hochspannungsfeldern: G.W. McKee, D.P. Knievel, D.T. Poznaniak und J.W. Bankoske untersuchten die Schädigung von Pflanzen durch Hochspannungsleitungen. Im Labor stellte sich heraus, dass – wie zu erwarten – insbesondere spitze Blätter durch Coronaentladungen absterben und dass dies i. allg. erst ab 25 kV/m auftritt, während unter Hochspannungsleitungen bis 1,5 MV nur 16 kV/m (2 m über dem Erdboden gemessen) auftreten.

Der Vortrag von H.B. Graves behandelte den Einfluss von 60-Hz-Feldern mit 25...80 kV/m Feldstärke auf Küken und Mäuse. Entsprechend einer mittleren elektrischen Leitfähigkeit von 0,2 S/m ergibt sich das innere Feld im Körper eines Kükens bei 40 kV/m Aussenfeld zu ca. 80 mV/m, was zu Stromdichten von 1,7 $\mu\text{A/cm}^2$ und Verlustleistungen von 10^{-9} W/cm³ führt. An den dünnen Beinen ergeben sich Stromdichten von 0,2 mA/cm² und Verlustleistungen von 10^{-5} W/cm³. Auch dies führt noch nicht zu thermischen Effekten, aber zu Veränderungen der Ionenkonzentration an Zellmembranen. Dies kann weiter

eine Erhöhung der Hormonausschüttung in der Hypophyse zur Folge haben. Bei Tieren kommt im Vergleich zum Menschen eine sehr wirksame vom Feld erzeugte Vibration des Feder- oder Haarkleides hinzu, die stimulierend auf die Haut wirkt und Sekundäreffekte über Nervenbahnen ausübt.

Messungen an Küken und Mäusen während verschiedener Lebensphasen nach dem Ausbrüten bzw. dem Wurf zeigten nur bei Langzeitanwendung (22 Tage) eines Feldes ab 40 kV/m eine signifikante Aktivitätsabnahme sowie eine Wachstumsstimulation. Weiter war der Herzschlag leicht erhöht, ebenso die Zahl der weissen Blutkörperchen um bis zu 100 %, während die roten Blutkörperchen abnahmen. Negative Einflüsse, z.B. histologisch nachweisbare Einflüsse auf das Nervengewebe, konnten nicht beobachtet werden. In einem Lernversuch liess sich zeigen, dass Küken kurzzeitige 60-Hz-Felder ab 25 kV/m wahrnehmen.

Über den Einfluss schwacher Felder, deren Wirkung z.B. R. Wever [18] und E. Jacobi [6] signifikant nachgewiesen hatten, wurde in Montreux nicht berichtet.

6. Biologische Wirkungen des magnetischen Feldes

In seinem Vortrag über Mehlwürmer behandelte G. d'Am-brosio auch magnetische Vektorgradientenfelder und zwar in zwei Tests 200...600 A/m und 400...1200 A/m. Wieder mieden im 2. Test die Würmer hohe Feldstärken, doch bleibt die Frage der Wirkung einer Restwelligkeit des statischen Feldes offen.

Über den Wirkungsmechanismus schwacher magnetischer Felder (sowohl statischer als auch alternierender) haben schon 1968 und 1973 M. Lindauer und H. Martin im Zusammenhang mit Versuchen an Bienen Überlegungen veröffentlicht [19; 20]. Das natürliche Erdfeld liegt bei etwa 40 A/m, die tägliche und auch kurzzeitige Schwankung bei 100 gamma, bei erhöhter Sonnenflecken-tätigkeit bis 1000 gamma. Dass derartig schwache Wechselfelder noch einen objektiv messbaren Einfluss auf Säuger und den Menschen haben, zeigten u.a. in letzter Zeit M.A. Persinger [21], E.S. Maxey [7] und W. Ehrmann et al. [22].

Der Autor trug in Montreux über Versuche vor, die nachweisen, dass sich impulsförmige Magnetfelder bestimmter Folge-Frequenzen zwischen 1 und 20 Hz, die in Resonanz mit EEG-Frequenzen stehen, bereits bei Feldstärken ab 40 gamma für eine medizinische Therapie eignen, aber bei falscher Anwendung auch unerwünschte Effekte hervorrufen können (nämlich, je nach Frequenz und Patiententyp, Unaufmerksamkeit oder Nervosität). Solche Magnetfelder wirken mehr oder weniger stark beruhigend, aber in anderen Fällen auch anregend. Versuche mit batteriebetriebenen Kleingeneratoren mit magnetischer Dipolantenne von 5 cm Länge an mehr als 1000 Patienten ergaben – im Doppelblindversuch – folgende signifikanten Messergebnisse:

- Änderung der Hauttemperatur örtlich um bis zu 4 °C (gemessen mit Temperaturfühler und IR-Kamera). Da sog. Headsche Zonen der Haut mit inneren Organen über Nervenbahnen verbunden sind, geben solche Messungen auch über innere Organe Auskunft.
- Änderung des elektrischen Hautwiderstandes um bis zu – 50 % und + 300 % (gemessen mit Dermograph nach VOLL, Direkt-rheograph und Impulsdermograph).
- Synchronisation des EEG mit der im Blindversuch angewandten Frequenz.
- Änderung der Blutelektrolyte (gemessen mit Bausch & Lomb-Emissionsspektrometer sowohl im Blutserum als auch im Vollblut. Durch Differenzbildung erhält man den Elektrolytgehalt in den Blutkörperchen).

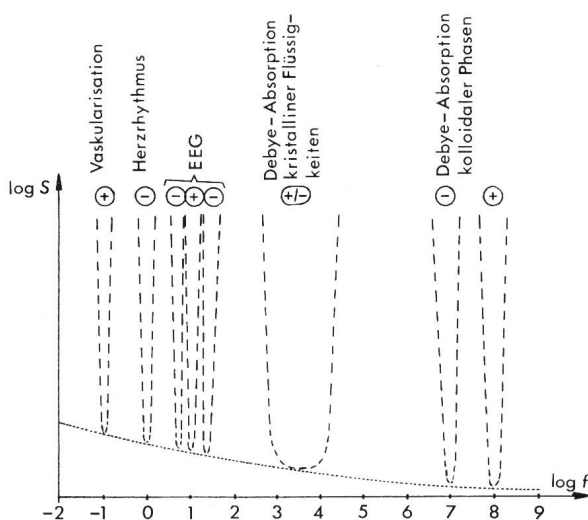


Fig. 2 Angenommene Schwellwerte «S» verschiedener Rezeptoren oder als solche wirkende Bezirke im Organismus bezüglich der magnetischen Feldstärke

Weitgehende Abschirmung bzw. geringer natürlicher Pegel. Punktiert wurde das Rauschniveau eingetragen. «+» und «-» symbolisieren die Wirkungen eventueller äusserer Einflüsse auf das Befinden eines bestimmten Typs. Abszisse: dekadischer Logarithmus der Frequenz in Hz

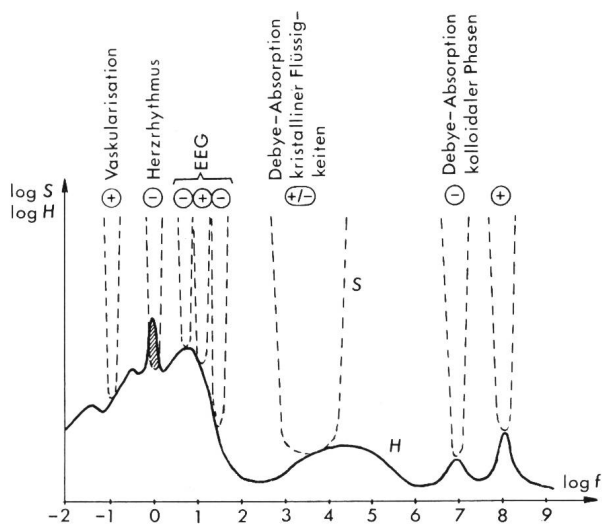


Fig. 3 Analoges Bild wie Fig. 2, jedoch ohne Abschirmung, d.h. mit momentanem Fourierspektrum des natürlichen magnetischen Feldes H
Im schraffierten Gebiet besteht ein Anpassungsfehler der Versuchsperson, was zu einer Störbeflussung führt

– Änderung des Kirlianphotos z.B. der Hand (vermehrte Büschelentladung an Fingerspitzen durch erhöhte Durchblutung und verminderten Übergangswiderstand).

Kranke, gestresste und labile Personen reagieren stärker auf diese Magnetfelder als Gesunde. Die Änderungen der gemessenen Parameter ist in komplizierter Weise abhängig vom Typ der Testperson (Vagotoniker, Sympathikotoniker, Mischtyp) und von der verwendeten Frequenz. Die Amplitudenabhängigkeit zwischen 40 gamma und 80 A/m zeigte zwar einen Stärkeeinfluss, nicht aber einen prinzipiellen Unterschied. Werden gleichzeitig zwei oder mehr verschiedene Frequenzen angewandt, so können sich deren Wirkungen aufheben, wie schon *E. Jacobi* mit elektrischen Feldern zeigte [6]. Auch wenn breitbandige Frequenzspektren benutzt werden, ist kein Effekt nachweisbar, aus dem gleichen Grund. Anhand der Figuren 2...5 soll versucht werden, dieses Phänomen zu erklären.

Fig. 2 zeigt stilisiert verschiedene frequenzselektive Rezeptoren oder als solche wirkende Organbezirke im Organismus mit ihren Ansprech-Schwellwerten «S». Durch «+» und «-» sind die Richtungen angegeben, in denen festgestellte Änderungen (z.B. Durchblutung, gemessen mittels Rheographie) erfolgen, wenn ein magnetisches Wechselfeld von mindestens 40 gamma angewandt wird. Dabei ist angenommen, dass die Testperson elektromagnetisch abgeschirmt ist; solche Versuche wurden mit grossem Aufwand unternommen.

Bei Fig. 3 ist die elektromagnetische Abschirmung aufgehoben und ein als Beispiel angenommener natürlicher Augenblickspegel des magnetischen bzw. elektromagnetischen Feldes H eingetragen. Im Hz-Bereich wurde ein Schumannwellenspektrum und im MHz-Bereich eine spezifische Magnetfeldstrahlung der Sonne angenommen. Aufgrund von Labilität, Stress oder Krankheit passt sich die Testperson nicht an die Schumannresonanzen an (gestörte Adaption) und reagiert mit physiologischen Änderungen, die vegetative Beschwerden verursachen (z.B. Kopfschmerzen).

In Fig. 4 ist zusätzlich das Signal eines magnetischen Impulsgenerators G eingetragen, das gross genug gewählt ist.

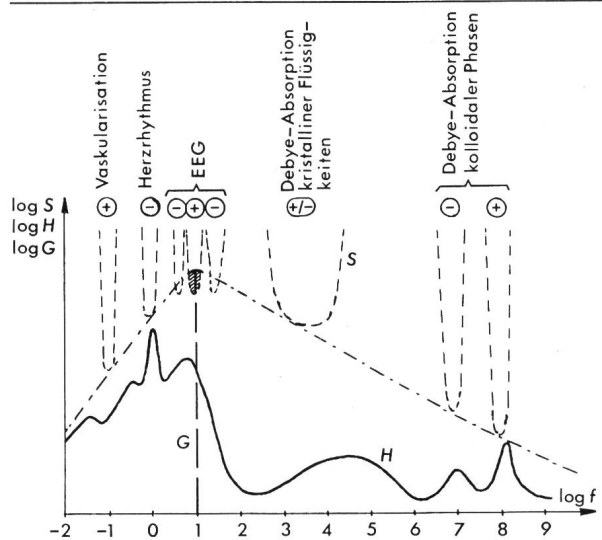


Fig. 4 Analoges Bild wie Fig. 3, jedoch mit zusätzlichem Generatorsignal G

Strichpunktiert wurde eine Verkopplung bzw. Wechselwirkung der Rezeptoren im Zentralnervensystem eingetragen. Im schraffierten Gebiet ist jetzt ein positiver Effekt zu verzeichnen.

Infolge einer biologischen Verkopplung der sensitiven Vorgänge im Organismus hat dieses Signal eine Verschiebung des gesamten Ansprechniveaus (strichpunktiert) zur Folge, besonders wenn eine biologische Resonanz (z.B. eine Gehirnwellen) genau getroffen wird. Aus der für die Testperson unangenehmen Wirkung wird so eine positive, als angenehm empfundene (z.B. Schmerzauslöschung).

Fig. 5 verdeutlicht, dass zwei künstliche Frequenzen oder (schraffiert angedeutet) ein Frequenzband den negativen Effekt nicht beseitigen.

Natürlich sind diese Darstellungen nur ein grober Versuch, die kybernetisch komplizierte Reaktion des Organismus zu erklären. *E.S. Maxey* hat in den USA eine grössere Anzahl von Berichten über ungeklärte Flugzeugabstürze gesammelt, und er nimmt einen Einfluss von Schumann-Resonanzen auf die Aufmerksamkeit der Piloten an [7]. Messungen des Autors in 4000 m Höhe machen solche Einflüsse sehr wahrscheinlich.

Derartige Fragen sind auch beim Krankenhausbau von Interesse, ist doch der Patient in modernen Spitälern einem stärkeren Technics-Feld ausgesetzt als in seiner Wohnung. Bekannt ist, dass für EEG-Messräume maximal 28 mA/m im Bereich um 50 bzw. 60 Hz zulässig sind, um noch einwandfrei registrieren zu können. Inwieweit der Mensch auf spezifische Signale reagiert, die aus dem allgemeinen Rauschpegel der Technics herausragen und dann erst messbare Effekte hervorrufen, ist noch weitgehend unerforscht. Daher sind die erwähnten Messungen von *R. J. Hoff* so wertvoll.

7. Biologische Wirkungen des elektromagnetischen Feldes

Während für Frequenzen unterhalb des Hochfrequenzgebietes die Verkopplung von elektrischem und magnetischem Vektor zufolge der Maxwell'schen Theorie sehr klein (im ELF-Bereich vernachlässigbar) ist, hat man es bei höheren Frequenzen stets mit elektromagnetischen (ebenen) Wellen zu tun; elektrische und magnetische Feldstärke sind also nicht mehr getrennt zu behandeln.

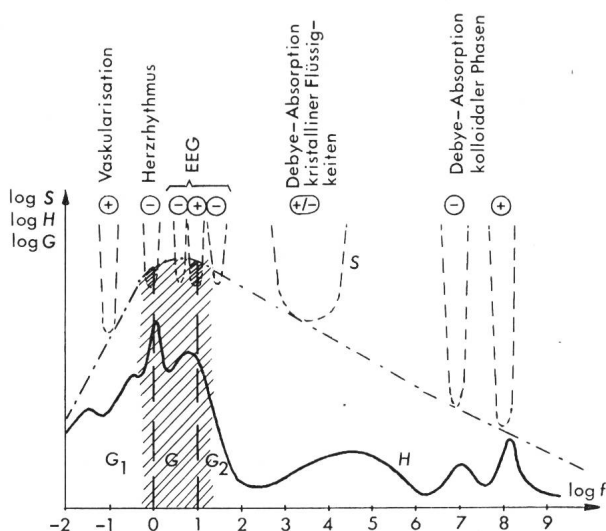


Fig. 5 Analoges Bild wie Fig. 4, jedoch mit zwei Generatorsignalen G_1 und G_2 oder mit einem (weit schraffiert angedeuteten) Breitbandsignal G
Der gleichzeitig auftretende negative Effekt stört trotz des positiven (engschraffierte Gebiete)

In seinem Vortrag berichtete G. d'Ambrosio auch über den Einfluss von Mikrowellen auf Mehlkäferlarven. Die Larven wurden in Wellenleiter gesetzt und einer Sendeleistung von 10 mW über zwei Stunden ausgesetzt. Dies führte zu teratogenen Schäden (Missbildungen am später ausgeschlüpften Käfer). Auch hier ist eine Frequenzabhängigkeit festzustellen: 9 GHz verursachten doppelt so viele Schäden wie 18 GHz. Leider wurde die von der Larve absorbierte Energiedichte nicht bestimmt, um vergleichbar mit anderen Messungen zu bleiben. Es zeigte sich bei der Diskussion erneut, wie nützlich solche Tagungen auch für die Vortragenden sind. Sie nehmen vielfach Anregungen für weitere Arbeiten mit nach Hause.

Im Referat von J. Bigu-del-Blanco wird gezeigt, dass Organismen eine spezifische Eigenstrahlung in bestimmten Bereichen des Mikrowellengebietes aufweisen, die von der des schwarzen bzw. grauen Körpers abweicht. Dies folgt z.B. aus der Mikrowellenradiometrie der Körperoberfläche des Menschen. Daraus kann geschlossen werden, dass zufolge des Kirchhoffschen Strahlungsgesetzes in diesen diskreten Bereichen auch eine bevorzugte Absorption solcher Frequenzen von aussen erfolgt. Welche physiologischen Wirkungen spezielle UKW- und Mikrowellen-Frequenzen haben, ist zurzeit Gegenstand intensiver Forschung. Man weiss heute schon, dass auch in diesem Frequenzbereich sehr schwache Signale (in der Grössenordnung von nW) Effekte erzielen [23].

8. Neue Aspekte der Medizintechnik

Das hier behandelte Thema ist speziell von Interesse für die Medizintechnik, insbesondere die Medizinelektronik. Den Krankenhausplaner beschäftigt vor allem die Störbeeinflussung der Geräte untereinander. In Montreux wurde ein seit 1976 im Handel befindlicher neuer Werkstoff (Metglas [24]) vorgestellt, der seine hohe magnetische Permeabilität (ca. 60000) bei mechanischen Verformungen nicht verliert, wie dies von Mu-Metall bekannt ist. Damit entfällt das aufwendige Tempern nach dem Aufbau von Abschirmgehäusen. Die magnetische Abschirmung eines Umspanntrafos in einem Spital erfor-

derte bisher den Transport des Abschirmgehäuses zu einem grossen Temperofen, was so umständlich war, dass man meist auf die ohnehin kostspielige Mu-Metall-Abschirmung verzichtete und Störungen in Kauf nahm. Die Unabhängigkeit der magnetischen Abschirmeigenschaften gegenüber Verformungen wurde nun dadurch erreicht, dass eine amorph erstarrte Schmelze aus 40 % Eisen, 40 % Nickel, 16 % Phosphor und 4 % Bor hergestellt wurde, die also keine metallisch-kristalline, sondern eine glasartige Mikrostruktur aufweist. Dies gab dem Material auch seinen Namen.

Weiter folgt aus dem in diesem Aufsatz Dargestellten, dass es möglich ist, Magnetfeld-Therapiegeräte in der Medizin einzusetzen, die gegenüber chemischen Medikamenten den Vorteil haben, dass sie weder Magen noch Leber oder Niere belasten, dies entgegen sämtlichen allopathischen Mitteln, für die der Satz gilt: «Keine Wirkung ohne Nebenwirkung». Ausserdem erwies sich die Erfolgsquote der Magnetfeldtherapie als wesentlich höher gegenüber der chemischen Therapie [1; 2]. Leider liegt die Chemie den Ärzten meist näher als die Physik, weshalb dieses neue Verfahren nur sehr langsam Einzug in die Schulmedizin findet.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass «EMC and life» sowohl zur Verhütung von Schäden als auch zur Therapie bereits bestehender Krankheiten ein Thema ist, das in Zukunft auch für den Elektroniker zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

Literatur

- [1] W. Ehrmann u.a.: Entwicklung eines elektromedizinischen Taschengerätes. *Medizinalmarkt/Acta Medico-technica* 24(1976)8, p. 282...285.
- [2] U. Evertz und W. Ludwig: Magnetfeldbehandlung. *Grenzgebiete der Wissenschaft* 26(1977)2, S. 106...119.
- [3] U. Evertz und H. L. König: Pulsierende magnetische Felder in ihrer Bedeutung für die Medizin. *Hippokrates* 48(1977)1, S. 16...37.
- [4] W. G. Walter: Das lebende Gehirn. Entwicklung und Funktion. Knaur Taschenbücher Nr. 20. München/Zürich, Droemer-Verlag, 1963.
- [5] W. Ludwig, M. A. Persinger und K.-P. Ossenkopp: Physiologische Wirkung elektromagnetischer Wellen bei tiefen Frequenzen. I. Historischer Überblick und gegenwärtiger Stand der Forschung. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Serie B* 21(1973)1, S. 99...109.
- [6] E. Jacobi und G. Kruskemper: Der Einfluss simulierter Sferics auf die Thrombozytenadhäsivität. *Innere Medizin* 2(1975)–, S. 73...81.
- [7] E. S. Maxey: Critical aspects of human versus terrestrial electromagnetic symbiosis. *USNC/URSI-IEEE Meeting*, Boulder, Colorado, 1975.
- [8] W. Ehrmann u.a.: Therapie mit ELF-Magnetfeldern. *Zeitschrift für Physikalische Medizin* 5(1976)–, p. 161...170.
- [9] J. Bruhn: Physik in Stichworten. Teilband 2: Optik und Relativitätstheorie. Atom- und Kernphysik. Hirts Stichwortbücher. Kiel, Hirt, 1966.
- [10] B. Heim: Vorschlag eines Weges zur einheitlichen Beschreibung der Elementarteilchen. *Zeitschrift für Naturforschung* 32a(1977)3/4, S. 233...243.
- [11] B. Heim: Der kosmische Erlebnisraum des Menschen. *Imago Mundi* 5(1975), S. 13...59.
- [12] H. S. Burr: Blueprint for immortality, the electric patterns of life. London, Neville Spearman, 1972.
- [13] G. Kienle: Arzneimittelsicherheit und Gesellschaft; eine kritische Untersuchung. Stuttgart, Schattauer Verlag, 1974.
- [14] W. Ludwig, R. Mecke und H. Seelwind: Elektroklimatologie. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Serie B* 16(1968)–, S. 237...250.
- [15] Kolloquium «Bioklimatologische Wirkung luftelektrischer und elektromagnetischer Faktoren». Technische Universität München, 16...18. September 1976. Diskussionsbeitrag. S. 1...2.
- [16] H. Rohrer: Neue Untersuchungen über biologische Mikroschwingungen. *Anzeiger der Österreichischen Akademie der Wissenschaft, Philosophisch-Historische Klasse* 89(1952)11, S. 153...161.
- [17] F. Dext, H. Zollner und G. Fischer: Einfluss des oberwellenfreien elektrischen Gleichfeldes auf einige physiologischen Messparameter. Vortrag des 2. Kolloquiums «Bioklimatologische Wirkung luftelektrischer und elektromagnetischer Faktoren». Technische Universität München, 16...18. September 1976.
- [18] R. Wever: Einfluss schwacher elektromagnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen. *Die Naturwissenschaften* 55(1968)1, S. 29...32.
- [19] M. Lindauer und H. Martin: Die Schwereorientierung der Bienen unter dem Einfluss des Erdmagnetfeldes. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* 60(1968)–, S. 219...243.
- [20] H. Martin und M. Lindauer: Orientierung im Erdmagnetfeld. *Fortschritte der Zoologie* 21(1973)2/3, S. 211...228.
- [21] M. A. Persinger: ELF and VLF electromagnetic field effects. New York and London, Plenum Press, 1974.
- [22] W. Ehrmann u.a.: Erprobung eines elektromagnetischen Taschengerätes. *Wetter, Boden, Mensch* –(1976)25, S. 1669...1676.
- [23] W. Peschka: Der kinetobarische Effekt. Vortrag auf der Tagung für Luftfahrttechnik in Innsbruck, September 1972.
- [24] Magnetic shield can be shaped. *Elektronics* 50(1977)5, p. 138.

Adresse des Autors

Dr. rer. nat. H. W. Ludwig, Buchlenwaldstrasse 6, D-7400 Tübingen 7.