

Die siebzehnte Konferenz der Bioelectromagnetics Society in Boston

## Fortschritt oder Rückschritt?

Von Priv. Doz. Dr. Rainer Meyer,  
Physiologisches Institut der Universität Bonn

In den verschiedenen Sitzungen beschäftigten die Wissenschaftler sich mit Fragen der Dosimetrie hochfrequenter Felder, dem Einfluß von magnetischen Feldern auf Heilungsprozesse, mit der Wahrnehmung von magnetischen Feldern bei verschiedenen Tieren, aber auch mit dem Einfluß von magnetischen oder elektrischen Feldern unterschiedlichster Frequenzen (von statischen bis zu hochfrequenten Feldern) auf Zellsysteme oder intakte Organismen.

Im Rahmen dieses Beitrags kann natürlich nicht jeder Forschungsbericht im einzelnen gewürdigt werden; einige Beiträge aus beachtenswerten Teilbereichen sollen stellvertretend vorgestellt werden, um die Probleme dieses Forschungsgebietes aufzuzeigen. Vorrangig werden dabei die Versuche an Zellsystemen, die sogenannten „in vitro“-Experimente, und Beiträge, die sich mit möglichen gesundheitsschädlichen Auswirkungen der Felder beschäftigen, behandelt. Diese Arbeiten untersuchten zum großen Teil die Frage: „Kann die Entstehung eines Tumors oder das Wachstum eines bereits bestehenden Tumors durch die Einwirkung eines Feldes begünstigt werden?“

Vergleicht man die Beiträge dieses Jahres mit denen der letzten zwei Konferenzen, dann fällt auf, daß

Untersuchungen zur Frage der Wirkung der sogenannten extrem niedrigfrequenten Felder („Extremely Low Frequency“-Fields, Felder zwischen 0 und 100 Hz) immer noch im Vordergrund stehen, obwohl die Untersuchungen zu den hochfrequenten Feldern deutlich zugenommen haben.

Wie auch in den Jahren vorher stand eine mögliche Einflußnahme elektromagnetischer Felder auf die verschiedenen Informationsübermittlungswege (Signaltransduktionswege) der Zellen bei den „in vitro“-Versuchen im Vordergrund; denn eine Veränderung der zellulären Signale könnte das empfindliche Gleichgewicht zwischen Wachstum und Entwicklung von Zellen stören und dadurch eine Entartung begünstigen. Dem Schwerpunkt „Signaltransduktion“ wurde durch einen ausführlichen Einführungsvortrag von Richard A. Luben Rechnung getragen. Der Vortrag hatte die Funktion, Spezialisten aus nicht-biologischen Gebieten, wie Ingenieuren oder Physikern, den Einstieg in das Gebiet der zellulären Signalübermittlung zu erleichtern.

Die Signalübertragung läuft nach folgendem Schema ab: Es gibt Signale, die von außen an eine Zelle herangebracht werden. Dies können sowohl Hormone mit Fern- oder Nahwirkung, Signale von

Nervenzellen, aber auch körperfremde Substanzen wie Antigene sein. Solche Substanzen reagieren in der Regel mit der Zellmembran und verändern so entweder direkt die Membranleitfähigkeit, oder es kommt zur Bindung der Substanz an einen Rezeptor in der Membran. Dieser Rezeptor wird dann dafür sorgen, daß die Information in das Zellinnere weitergeleitet wird. In beiden Fällen besteht das intrazelluläre Signal häufig aus einer Veränderung der intrazellulären Calciumkonzentration, aber es gibt auch eine Reihe von anderen Botenstoffen, z.B. zyklisches Adenosinmonophosphat oder Inositoltrisphosphat und Diacylglycerin. Die Botenstoffe können direkt oder über eine Aktivierung von Enzymen eine schnelle Reaktion der Zelle einleiten, wie z.B. Bewegung oder Abgabe einer Substanz. Sie können aber auch durch die Aktivierung eines Teil des genetischen Programms der Zelle die Synthese von Proteinen einleiten oder zu verändertem Zellwachstum führen.

Der Vortrag von Luben gab Lehrbuchwissen über die Wirkungsmechanismen von Hormonen und anderen Botenstoffen wieder. Der Einfluß elektromagnetischer Felder auf die vorgestellten Mechanismen wurde nicht behandelt. Mögliche Einflüsse der Felder auf die zellulären Signalübertragungs-

mechanismen können auf verschiedenem Niveau dokumentiert werden.

Dies sollte dann in den unterschiedlichen Sitzungen zu diesem Gebiet geschehen:

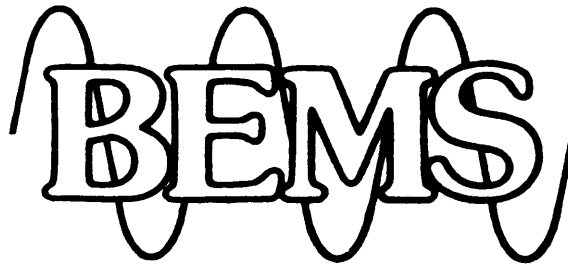
1. Einzel-Zell-Techniken,
2. Zell-Studien,
3. Zelluläres Calcium,
4. Gen-Expression und Signaltransduktion „in-vitro“,
5. einige andere Studien in verschiedenen Sitzungen.

Neben diesem einführenden Vortrag zu den Mechanismen der Signaltransduktion wurden die Techniken, mit deren Hilfe die Signaltransduktion verfolgt werden kann, in einer „Einzel-Zell-Techniken“-Sitzung behandelt. Drei Methoden wurden vorgestellt:

1. Eine **mikroskopische Technik**, mit deren Hilfe man die Koppelung zwischen Zellen messen kann. Leider ein Beitrag ohne konkrete Anwendung auf dem Feld der EMF-Forschung. Die einzige Arbeit, die sich mit der Messung der Zellkoppelung beschäftigte, bediente sich anderer Techniken.
2. Als zweite Technik wurde die **Messung der intrazellulären Calciumkonzentration** besprochen, eine Technik, die in einigen Untersuchungen eingesetzt wurde. Neben den technischen Aspekten wurden in diesem Beitrag auch einige interessante Ergebnisse zur gerichteten Wanderung von Hautepithelzellen im elektrischen Feld gezeigt, ein Prozeß, der bei der natürlichen Wundheilung eine Rolle spielt.

3. Als weiteres Beispiel wurde die Technik der **Messung von elektrischen Strömen durch die Zellmembran mit „patch clamp“-Elektroden** vorgestellt und auch mit Beispielen belegt. In GH3-Zellen in einem statischen Magnetfeld von 120 mT soll danach die Anstiegssteilheit eines Stromes durch Calcium-Kanäle verringert werden.

Im weiteren sollen die verschiedenen Untersuchungen entlang der Signalkaskade erläutert werden. Messungen der elektrischen Eigenschaften der Zellmembranen unter dem Einfluß von Feldern wurden nur in der oben erwähnten Untersuchung des Einflusses statischer Felder auf den Calci-



umstrom und unter hochfrequenten Feldern (960 MHz 217 Hz gepulst) als Messungen des Membranpotentials von Schnecken von Uwe Kullnick et al. vorgestellt. Diese Membranpotentialmessungen erbrachten keine klaren Aussagen.

Auf dem Gebiet der Calcium-Messungen war auffällig, daß einige Arbeitsgruppen, die hier früher sehr aktiv waren, dieses Mal keine oder keine neuen Messungen präsentierten. Neue Daten auf diesem Gebiet waren nur in wenigen Beiträgen enthalten. Ein Teil der Messungen befaßte sich mit der Aktivierung der Immunantwort von Lymphozyten, also im weitesten

Sinne mit der Erforschung der Frage, über welche Mechanismen Magnetfelder Einfluß auf Leukämie nehmen könnten.

Eine schwedische Arbeitsgruppe um Ewa Lindström hat vor zwei Jahren veröffentlicht, daß magnetische Felder (50 Hz, 100  $\mu$ T) in entarteten T-Lymphozyten der Zelllinie „Jurkat“ Calcium-Oszillationen induzieren, ganz so, als ob die Zellen zu einer Immunantwort angeregt würden. Im letzten Jahr auf der Tagung in Kopenhagen zeigten die selben Autoren, daß die Magnetfelder möglicherweise mit dem die Immunantwort auslösenden T-Zell-Rezeptor interagieren. Im Gegensatz dazu zeigten in Kopenhagen mehrere Arbeitsgruppen aus USA und Europa, daß es nicht gelungen war, die Befunde der schwedischen Arbeitsgruppe zu reproduzieren. In diesem Jahr zeigten Lindström und Mitarbeiter weitere Ergebnisse, mit denen sie glauben, nachweisen zu können, daß eine bestimmte Untereinheit des T-Zell-Rezeptors, die  $\zeta\zeta$ -Ketten, durch das Magnetfeld beeinflußt werden.

Eine Arbeitsgruppe aus den USA um Rober P. Liburdy, die die Befunde der schwedischen Arbeitsgruppe auch nicht hatte reproduzieren können, legte diesmal an Jurkat-T-Lymphozyten Befunde dar, die die Ergebnisse der schwedischen Arbeitsgruppe ergänzen könnten. Bei den Versuchen von Liburdy wurden die T-Lymphozyten an ihrem Rezeptor mit einem Antikörper stimuliert. Findet diese Stimulation im Magnetfeld (50 Hz, 100  $\mu$ T) statt, dann soll sich eine verstärkte Calciumantwort ergeben. Die Autoren zeigen eine möglicherweise

erhöhte Bindung des Antikörpers am T-Zell-Rezeptor, d.h. das Magnetfeld soll bewirken, daß der Antikörper in einem höheren Ausmaß an seinen Rezeptor bindet und damit eine stärkere Calciumantwort hervorruft. Lindström und Mitarbeiter argumentieren dagegen, daß das Magnetfeld allein ausreicht, um die Jurkat-Zellen zu aktivieren; die amerikanische Arbeitsgruppe findet jedoch nur einen Einfluß des Feldes, wenn der Rezeptor vorstimuliert wird. Auch meine Arbeitsgruppe hat in einer sehr großen und mehrmals wiederholten Versuchsserie die Befunde einer direkten Stimulation des T-Zellrezeptors durch Magnetfelder nicht bestätigen können. Es herrscht also eine große Unklarheit, warum die Untersuchungen von Lindström nicht reproduzierbar waren. Bisher wurde nicht versucht, die Befunde von Liburdy nachzuvollziehen.

Neben diesem Beitrag präsentierte die Arbeitsgruppe von Liburdy einen eher technisch interessanten Beitrag, bei dem die Störungen des Erdmagnetfeldes durch unterschiedliche Mikroskopobjektive gezeigt wurden. Dabei stellte sich heraus, daß Nikon-Objektive eine „lokale Feldumkehr“ bewirkten, Zeiss-Objektive dagegen nicht. Bei mikroskopischen Untersuchungen, bei denen das Gleichfeld eine Rolle spielen könnte, wie z.B. bei Calciummessungen zur Zyklotronresonanztheorie, könnte hier eine erhebliche Verschiebung der realen Bedingungen gegenüber den erwarteten eintreten.

Messungen der intrazellulären Calciumkonzentration an T-Jurkat-Zellen wurden auch von der Arbeitsgruppe Sandblom aus Schweden in zwei Beiträgen gezeigt. Diese Arbeitsgruppe gehörte zu denen, die auch die Befun-

de von Frau Lindström nicht hatten reproduzieren können. Sie zeigten bereits in Kopenhagen, daß man mit magnetischen Feldern (50 Hz; 100 µT) möglicherweise die Frequenz spontaner Calciumoszillationen beeinflussen könnte. Das Feld wurde dazu im Zehn-Minuten-Rhythmus ab- und angeschaltet. Die Amplitude der Oszillationen soll durch die Magnetfelder um 30% verringert werden und das Frequenzspektrum, welches mit einer Fourier-Transformation ermittelt wurde, soll zu höheren Frequenzen hin verschoben werden. Eine Beurteilung der Versuche fällt schwer, jedoch muß man feststellen, daß bei den Versuchen meiner Arbeitsgruppe eine Reduktion der Amplituden um 30% hätte auffallen müssen.

Die direkte Beeinflussung des intrazellulären Calciums in Zellen

## Begriffslexikon

**Agenzien:** Wirkende Mittel

**Allergen:** Ein Antigen, das eine allergische Immunantwort auslöst

**Antigen:** Substanz, die von einem lebenden Organismus als fremd erkannt wird und eine entsprechende Immunantwort auslöst

**Cancerogenität:** Potentielle Fähigkeit von Noxen oder Faktoren, Krebs zu erzeugen

**cerebral:** das Gehirn betreffend

**Desensibilisierungstherapie:** Verfahren zur Reduktion einer Angst oder Phobie durch Verhaltenstherapie

**Doppelblind-Studie:** Studie mit

besonderer Versuchsanordnung, die ermöglicht, daß weder der Proband noch der Experimentator wissen, wann der Versuch durchgeführt wird

**Dosimetrie:** Methode zur Bestimmung der Größe einer Exposition

**Elektroenzephalogramm (EEG):** Messung der allgemeinen Großhirntätigkeit mit elektrischen Mitteln

**EMF:** Elektromagnetische Felder

**Exposition:** Gesamtheit der äußeren Bedingungen, denen ein Organismus ausgesetzt ist, für die Entstehung einer Krankheit

**GCP (Good Clinical Practice):** Richtlinie für klinische Versuche; Grundlage sind die SOP's, die Standard Operating Procedures zur Regelung der Veran-

wortung und Abläufe

**Gehirnneurone:** Nervenzellen im Gehirn

**Genotoxizität:** Keimschädigende Wirkung einer Noxe auf den lebenden Organismus

**GEP (Good Epidemiological Practice):** Richtlinie für die Planung und Durchführung epidemiologischer Studien

**GLP (Good Laboratory Practice):** Verordnung für klinische Versuche; Richtlinie der EG seit 1988, die weitgehend mit denen der USA übereinstimmt

**Homöopathie:** Heilverfahren mit Mitteln in hoher Verdünnung, die in hoher Dosis ähnliche Krankheitserscheinungen hervorrufen würden

*Fortsetzung auf Seite 23*

des Immunsystems durch magnetische Felder wurde auch von einer japanischen Arbeitsgruppe mit Hilfe der Durchflußcytometrie untersucht. Sie wählten T-Lymphozyten aus dem Thymus, die auch schon früher häufig untersucht wurden. Bei diesen früheren Versuchen war immer berichtet worden, daß die Zellen unter der gleichzeitigen Einwirkung eines Magnetfeldes und eines chemischen Stimulus, z.B. Lektine, mit einem veränderten Calciumein- oder -ausstrom reagierten. Unter der Einwirkung eines Magnetfeldes (5 mT; 50 Hz) und gleichzeitiger Stimulation mit Lektin oder einem Antikörper gegen den T-Zellrezeptor zeigte sich bei dieser Untersuchung keine veränderte Antwort im intrazellulären Calcium. Ob dieser Versuch eine wirklich gute Reproduktion der früheren Versuche darstellt, wird von den Autoren selbst bezweifelt, und sie planen daher weitere Versuche zu dieser Frage.

Auch an Lymphozyten, jedoch an der Zelllinie „HL60 Zellen“ wurden von Carson und Prato Messungen des intrazellulären Calciums in Zellpopulationen gezeigt. Die Autoren hatten in einer früheren Arbeit an den gleichen Zellen nachgewiesen, daß die zeitlich variierende Komponente der Kernspinresonanz einen Anstieg der intrazellulären Calciumkonzentration verursachte. Diesen Effekt wollten die Autoren hier reproduzieren und genauer charakterisieren. Es gelang jedoch nicht, den Effekt nochmals zu reproduzieren. Der Vortrag ist aus zwei Gründen bemerkenswert: erstens ist es zumindestens ungewöhnlich, wenn Befunde von denselben Untersuchern nicht mehr reproduziert werden können, und zweitens ist es sehr lobenswert, wenn die Autoren dies auch noch öffentlich zugeben.

An HL60-Zellen hat auch eine weitere Arbeitsgruppe Calciummessungen durchgeführt. Diese Arbeitsgruppe hat auf der Tagung der BEMS vor zwei Jahren in Los Angeles eine Beeinflussung des Signaltransduktionssystems der HL60-Zellen durch elektrische 60-Hz-Felder vorgestellt. Dabei werden die Zellen entweder mit Adenosintriphosphat (ATP) oder Histamin von außen stimuliert. Sie antworten darauf mit einem kurzzeitigen Anstieg der intrazellulären Calciumkonzentration, also mit einem typischen Signalübertragungsmechanismus. Diese Antwort der HL60-Zellen soll durch die Einwirkung des elektrischen Feldes verringert werden. Der Mechanismus dieser Beeinflussung der Signalübertragung sollte genauer spezifiziert werden. Die Ergebnisse deuten an, daß hier möglicherweise eine Einwirkung des Magnetfeldes auf die Proteinkinase C vorliegt, ein von Calcium abhängiges Enzym. Man sollte jedoch bedenken, daß hier ein biologisches System vorgestellt wird, welches nur von dieser Arbeitsgruppe verwendet wird. Damit erscheinen die Ergebnisse bisher noch nicht gut belegt.

Eine weitere Untersuchung des intrazellulären Calciums an einer ganz anderen Zelllinie – Zellen, die Knochenzellen ähneln (ROS 17/2.8) – zeigte ebenfalls keinen Einfluß eines Magnetfeldes. Auch hierbei handelte es sich um den Versuch einer Reproduktion älterer Ergebnisse von Bruth McLeod et al. Diese Arbeitsgruppe hatte berichtet, daß diese Knochenzellen regelmäßige Calciumoszillationen während der Zellteilung entwickeln. Die Amplitude dieser Oszillationen ließ sich durch die Einwirkung von 16- bzw. 60-Hz-magnetischen Feldern zwischen 500 und 2.000 Gauß verringern. Die Reproduktion dieser Ergebnis-

se ergab, daß die Oszillationen nur in Zellen auftreten, die mit dem Calciumindikator überladen sind und schon morphologische Schäden zeigen. Es handelt sich hierbei also offensichtlich nicht um ein physiologisches (normales) Ereignis. Die Verringerung der Amplituden der Oszillationen ließ sich an diesen geschädigten Zellen zwar zeigen, war jedoch so gering, daß eine statistische Signifikanz kaum erreicht wurde. Nach Ansicht der Autoren ist auch hier eine Reproduktion eines Befundes mißlungen.

Etwas aus dem Rahmen fällt ein Beitrag meiner Arbeitsgruppe, der sich mit der Wirkung hochfrequenter Felder, wie sie im Mobilfunk angewendet werden (900 und 1800 MHz; gepulst nach GSM-Standard), auf die intrazelluläre Calcium-Konzentration in isolierten Herzmuskelzellen beschäftigt. Es war der einzige Beitrag zu diesem Thema. Die erzielten SAR-Werte lagen im Bereich von 8-30 mW/kg, je nach Trägerfrequenz und Pulsmuster. Ein Einfluß auf das intrazelluläre Calcium konnte nicht nachgewiesen werden.

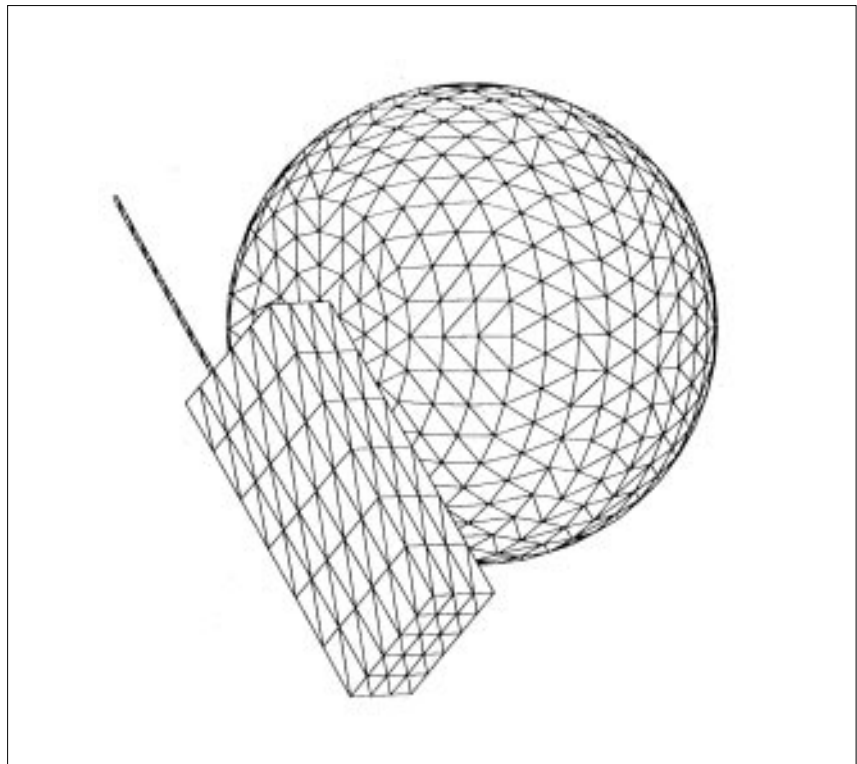
Eine interessante Arbeit über einen denkbaren Wirkungsmechanismus magnetischer Felder auf leukämische Zellen präsentierte die Arbeitsgruppe von Luben, die an einer menschlichen B-Zelllinie arbeitet. Hier wurde ähnlich wie bei der Arbeit von Lindström et al. der Signaltransduktionsmechanismus in Lymphocyten untersucht. In diesem Fall wurde allerdings die Aktivität verschiedener Enzyme, die an der Signaltransduktion beteiligt sind, gemessen und nicht das Calcium: die Aktivität von Tyrosinkinasen und die sogenannter Mitogen assoziierter Proteinkinasen (MAPs) sowie die der Proteinkinase C. Die Tyrosinkinasen, „lyn“ und

„syk“, wurden durch ein Magnetfeld von 60 Hz/ 100  $\mu$ T aktiviert. Die Tyrosinkinase sind bekanntermaßen mit dem Membranrezeptor CD40/ CD19 gekoppelt, so daß die Aktivierung entweder durch eine Beeinflussung dieses Rezeptors oder durch eine direkte Beeinflussung der Tyrosinkinase möglich ist. Diese Aktivierung führte auch zu einer Aktivierung der später in der Signalübertragungskette gelegenen MAPs und der Proteinkinase C, die dann selbst wieder zur Einschaltung sogenannter früher Antwortgene führen. Diese Gene leiten Zellwachstum und Teilung ein. Die Aktivierung dieser spät in der Kette gelegenen Systeme ließ sich durch Anwendung des Hemmstoffes Genistein, welcher Tyrosinkinase blockiert, verhindern. Mutanten, die keinen CD40/CD19-Rezeptorkomplex ausbilden, zeigten keine Sensibilität für Magnetfelder. Sollten diese Befunde reproduzierbar und korrekt sein, wäre in dieser Arbeit die ganze denkbare Kette vom Wirkort des Magnetfeldes bis zur Einschaltung der entsprechenden Gene für die Zellvermehrung aufgezeigt. Dies wäre ein Mechanismus, der eine krebspromovierende Wirkung der magnetischen Felder aufzeigen würde. Den weiteren Verlauf, den diese Ergebnisse nehmen, sollte man genau beobachten. Andere Versuche, die sich mit der Ansteuerung des genetischen Programmes beschäftigen, werden im folgenden besprochen.

Langzeitwirkungen erzielen Eingriffe, die das Ablesen des genetischen Programmes („Gen Expression“) beeinflussen. Es gibt Gene, deren Ablesen zur Produktion von speziellen Faktoren führt, die für schnelle Zellvermehrung notwendig sind. Diese Gene werden Proto-Onkogene genannt. Aus Proto-Onkogenen können

durch kleine Mutationen Onkogene werden. Die Onkogene werden in entarteten Zellen verstärkt aktiviert. Da magnetische Felder im Verdacht stehen, Krebs zu begünstigen, wird schon seit längerem die Frage untersucht, ob magnetische Felder das Ablesen der Proto-Onkogene begünstigen. Ei-

beitsgruppe „HeLa“-Zellen, eine Brustkrebs-Zelllinie, bezüglich der Proto-Onkogene untersucht. Eine Aktivierung des Proto-Onkogens c-fos in PC12-Zellen konnte durch magnetische 60-Hz-Felder von 0-100  $\mu$ T allein nicht erzielt werden. Im Fall einer Vorstimulation mit Wachstumsfaktoren und der zu-



Die Berechnung von EM-Feldern und der spezifischen Absorption (SAR) an jedem Punkt läßt sich in einer Netzgraphik darstellen.

ne interessante Arbeit zu diesem Komplex wurde von Löschinger et al. präsentiert. Es wurden Felder zwischen 2 und 100 Hz mit Flußdichten zwischen 1 und 10 mT auf menschliche Hautfibroblasten angewendet. Diese Zellen zeigen spontane Calciumoszillationen.

Von einer Arbeitsgruppe wurden PC12-Zellen, eine neuronale Zelllinie, und von einer anderen Ar-

sätzlichen Einschaltung verschiedener Signalwege läßt sich das c-fos-Gen aktivieren. Wenn unter diesen Bedingungen zusätzlich ein 60 Hz-Feld angewendet wurde, konnte die Aktivierung noch gesteigert werden.

In der zweiten Untersuchung zu diesem Komplex an HeLa-Zellen wurde gezeigt, daß die Prozesse, die eine Aktivierung des c-fos-Gens einleiten, durch 60-Hz-Fel-

der zu beeinflussen sind. Auch die Arbeitsgruppe von Reba Goodman hat wieder Untersuchungen zum Einfluß von 60-Hz-Magnetfeldern auf die Aktivierung der Proto-Onkogene vorgestellt, und zwar am Modell der HL60-Zellen. Wie schon in früheren Publikationen dieser Arbeitsgruppe wurde auch hier wieder eine verstärkte Einschaltung eines Proto-Onkogens durch die Einwirkung von 60-Hz-Magnetfeldern präsentiert. Sollten diese Beobachtungen nachvollziehbar sein, dann würde dies eine Erklärung für die Beobachtungen einer erhöhten Leukämie-Wahrscheinlichkeit durch die Einwirkung von ELF-Feldern sein. Allerdings muß gerade zu den Arbeiten dieser Arbeitsgruppe angemerkt werden, daß sie in der Wissenschaft sehr stark angezweifelt werden. Im Mai 1995, also kurz vor der BEMS-Tagung, wurden in der hochangesehenen wissenschaftlichen Zeitschrift Nature (375, Seite 22-23) zwei Artikel veröffentlicht, die sich ausschließlich damit beschäftigen, die früheren Ergebnisse von Frau Goodman und Mitarbeitern nachzuvollziehen. Beide Arbeitsgruppen zeigen, daß sie die Versuche nicht reproduzieren konnten. Sie bemängeln fehlende Kontrollexperimente in den Arbeiten aus der Gruppe von Frau Goodman und vermuten systematische Fehler in deren Arbeiten.

Neben den intrazellulären Botenstoffen ist auch an die Beeinflussung des Hormons Melatonin (extrazellulärer Botenstoff) zu denken. Dieses Hormon wird in der Zirbeldrüse synthetisiert und während der Nacht im Dunkeln ausgeschüttet. Da es sich dabei um einen extrazellulären Botenstoff handelt, werden die Versuche in diesem Beitrag nicht behandelt.

### Fazit

Nicht nur die kontroversen Ergebnisse auf dem Gebiet der Calciummessungen, sondern auch die Diskussion in der Zeitschrift „Nature“ über die Ergebnisse von Frau Goodman zeigt, wie kritisch positive Ergebnisse bewertet werden müssen und wie wichtig die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen für ihre Glaubwürdigkeit ist. Die Reproduzierbarkeit von wissenschaftlichen Experimenten ist eine Grundvoraussetzung für die Relevanz der Ergebnisse.

Nur Ergebnisse, die sich von anderen Arbeitsgruppen bestätigen lassen, haben eine Bedeutung, allerdings kann das Scheitern einer Bestätigung immer mehrere Gründe haben:

1. Der ursprüngliche Befund war falsch.
2. Die Randbedingungen waren in beiden Versuchen unterschiedlich.
3. Der Versuch der Bestätigung ist mit Fehlern behaftet.

Eine Nicht-Bestätigung muß also noch nicht unbedingt den ursprünglichen Befund als falsch deklassieren. An die Reproduktion eines Versuches durch eine zweite Arbeitsgruppe müssen daher ganz strikte Bedingungen geknüpft sein, die die Zuverlässigkeit dieses Ansatzes beweisen. Offensichtlich hat aber bisher die geringe Zahl von Wissenschaftlern, die auf dem Gebiet der Erforschung der Wirkung elektromagnetischer Felder auf Zellen und Organismen gearbeitet hat, bewirkt, daß Ergebnisse selten von anderen Gruppen reproduziert wurden. Jede Gruppe hat nur auf ihrem Spezialgebiet gearbeitet. Da die Effekte in der

Regel klein waren und die eingesetzten Apparaturen häufig aus finanziellen Gründen eher einfach aufgebaut waren, könnten die Befunde auch durch unkontrollierten Einfluß auf die Meßapparatur hervorgerufen worden sein. Dieses Dilemma der bisher vorgestellten Ergebnisse zieht sich offensichtlich durch viele Arbeiten. Eine derartige Diskussion bezüglich der Ergebnisse der Forschung über elektromagnetische Felder ist bereits früher in „Nature“ geführt worden. In dem damaligen Fall ging es um die Frage, ob die Herzfrequenz sich durch Felder beeinflussen läßt, und an dieser Frage wurde die Seriosität des gesamten Forschungsgebietes aufgehängt. Auch nach etlichen Jahren ist diese Frage immer noch aktuell. Allerdings nehmen in den letzten Jahren die Bemühungen zu, echte von scheinbaren Befunden zu trennen. Es werden immer mehr Befunde auf ihre Reproduzierbarkeit hin überprüft. Sollten weitere Mittel in das Forschungsgebiet fließen, dann sind hier in den nächsten Jahren wirkliche Aussagen zu erwarten. Sollten sich dabei Teile der vorliegenden Befunde als wissenschaftlich korrekt herausstellen, dann hätte dies für einige technische Anwendungen Konsequenzen.

Eine abschließende Erhärtung der Befunde hat m.E. noch auf keinem Gebiet stattgefunden. Manches ältere wird langsam widerlegt, aber auf dem Gebiet des Melatonins, welches in diesem Beitrag nicht behandelt wurde, sind mögliche Einflüsse von Feldern zumindestens nicht unwahrscheinlicher geworden. Auch auf dem Gebiet der Beeinflussung von Lymphozyten sind sicherlich noch einige Fragen offen.

## Begriffslexikon

Fortsetzung von Seite 18

**Homöostase:** Gleichgewicht der physiologischen Körperfunktionen

**in vivo:** Versuche am lebenden Objekt (Mensch, Tier)

**in vitro:** Laborversuche an Versuchsmodellen, isolierten Organen oder Zellkulturen

**Latenzzeit:** Zeitraum zwischen Einwirkung einer Noxe bis zur Manifestation der Erkrankung

(Tumor)

**Meningiome:** Sammelname für alle bösartigen Geschwülste des Gehirns

**Metabolismus:** Stoffwechsel

**Mikrowellen:** Frequenzbereich zwischen 300 MHz bis 300 GHz; entspricht 1 m bis 1 mm Wellenlänge

**Mitochondrien:** bakteriengroße, ovale, mit einer Doppelmembran umhüllte Zellorganellen

**Noxen:** krankheitserregende Ursache

**Radikal:** stabile Atomgruppe mit einer bestimmten Struktur in-

nerhalb eines Moleküls

**RF:** Radio-Frequenzbereich zwischen 30 kHz und 300 MHz

**SH-Gruppe:** (Sulfhydrylgruppe) in vielen biochemisch wichtigen Verbindungen enthalten

**TEM-Zelle:** Hochfrequenz-Expositionskammer

**Tumorpromotion:** Fähigkeit von Noxen oder Faktoren, die Tumorentwicklung zu fördern

**Vaccine:** Impfung mit einem Stoff aus lebenden oder toten Krankheitserregern

**Wave-Guide:** Hochfrequenz-Expositionskammer