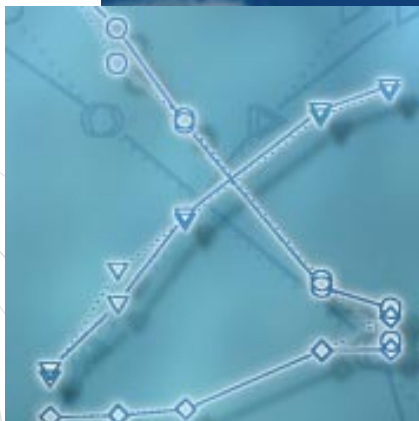
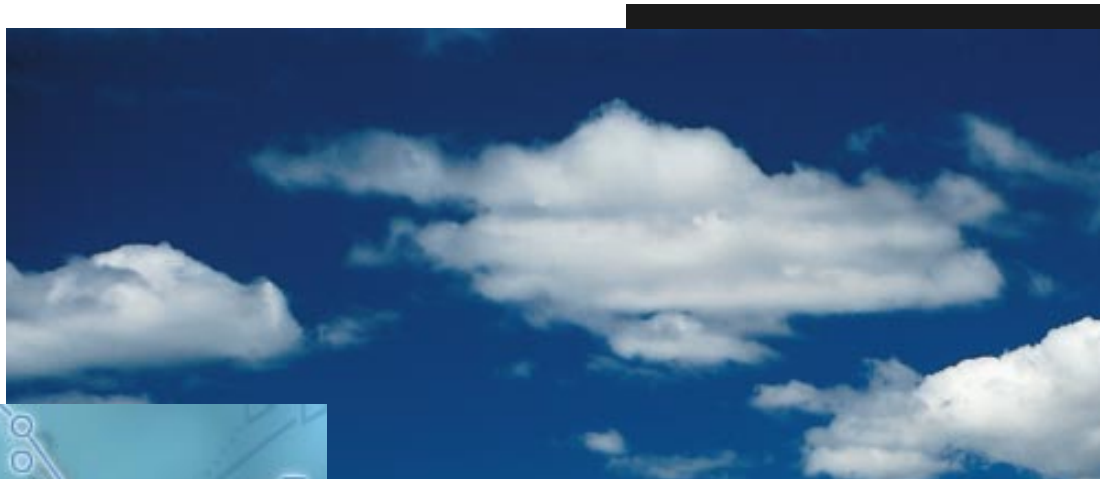


Edition Wissenschaft

Forschungsgemeinschaft Funk e.V. · G 14515 · Ausgabe Nr. 13 · Juni 1997



Verbundvorhaben „Biologische
Wirkungen hochfrequenter
elektromagnetischer Felder“

**Teilbericht über
die untersuchten
BOS-Funkfrequenzen**

Von F. Gollnick

Edition
Wissenschaft



Forschungsgemeinschaft Funk

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser!

Zum Thema „Biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder“ wurden vom Forschungsverbund „Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme“ unter Leitung von Prof. Brinkmann kürzlich eine Reihe von Untersuchungen fertiggestellt. Die Ergebnisse dieses, von der Forschungsgemeinschaft Funk geförderte Vorhaben wurden bereits auf der FGF-Presskonferenz am 27. Februar 1997 der interessierten Öffentlichkeit präsentiert und diskutiert.

Im Rahmen dieses Verbundvorhaben wurde die Wirkung von elektromagnetischen Feldern, wie sie durch Mobilfunkgeräte und Funksysteme der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) entstehen, auf menschliche und tierische Zellen untersucht. Die Experimente wurden an einzelnen gesunden und entarteten (krebsartig veränderten) Zellen durchgeführt. Für dieses biologische Versuchsmaterial standen in den Instituten gut bekannte und etablierte Modelle zur Verfügung.

Am Institut für Klinische Chemie und Klinische Biochemie der Fachuniversität Berlin wurden Untersuchungen zum Zellwachstum von menschlichen Tumorzellen durchgeführt. Periphere Lymphozyten waren bei den Experimenten der Universität-Gesamthochschule-Essen, Fachbereich Genetik verwendet worden. Das Verhalten befeldeter Herzmuskelzellen war am Physiologischen Institut der Universität Bonn untersucht worden. An der Universität Braunschweig und an der Bergischen Universität Wuppertal wurden die für die Untersuchungen benötigten Berechnungen für die Expositionsanlagen vorgenommen.

In den nächsten Ausgaben der „Edition Wissenschaft“ werden wir Ihnen die einzelnen Studien in ungekürzter Form präsentieren.

Mit der vorliegende Ausgabe der „Edition Wissenschaft“ liegt Ihnen zunächst ein Teilbericht des Verbundvorhabens vor, der sich mit den untersuchten BOS-Frequenzen (z.B. Polizeifunk) der oben genannten Teilstudien beschäftigt. Das Gesamtergebnis der Wissenschaftler: „Alle drei Teilbereiche kommen zu dem Ergebnis, daß die exemplarisch ausgeführten Befeldungsexperimente mit den dabei überprüften BOS-Sendefrequenzen keinen Anlaß zur Befürchtung gesundheitlicher Risiken für die Anwender geben.“

Gerd Friedrich

Inhalt

Verbundvorhaben „Biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder“:

Teilbericht über die untersuchten BOS-Funkfrequenzen

Einführung	3
· Einleitung	3
· Begriffserklärungen	3
Methoden und Ergebnisse	4
· Untersuchung im Bereich der Funkfrequenzen für analoge Funksysteme (2-m-Band)	5
· Untersuchung im Bereich der Funkfrequenzen für künftige digitale Funksysteme (380 - 400 MHz)	8
Gesamtergebnis	13

Summary: **Partial Report on the Investigated BOS-Radio Frequencies**

Abschlußbericht über das Verbundvorhaben „Biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Teilbericht über die untersuchten BOS-Funkfrequenzen

Dr. F. Gollnick, Physiologisches Institut
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Einführung

Einleitung

Elektromagnetische Phänomene begleiten die Evolution seit ihrem Beginn. Beispielsweise sind der Erdmagnetismus, Wetterleuchten oder Nordlicht, Solarwind und natürlich Licht allgegenwärtig. Das Leben auf der Erde hat sich nicht nur trotz dieser Bedingungen entwickelt, sondern sich die elektromagnetischen Effekte teilweise sogar zunutze machen können, siehe etwa die Energiegewinnung der Pflanzen durch Photosynthese, die Lichtsinnesorgane zur Erkundung der Umgebung oder die Wahrnehmung des Erdmagnetfeldes bei Zugvögeln. Seit Telegraph und Glühbirne die Welt erobert haben, kommen vielfältige technische, also durch menschliches Handeln entstehende Felder hinzu.

Hier stellt sich die Frage, *ob*, und wenn ja, *wie* die Veränderungen der elektromagnetischen Umgebung die Umwelt oder den Menschen beeinflussen. In den letzten Jahren sind hier vor allem die durch den Einsatz von Mobilfunkgeräten, Haushaltsstrom und Elektrogeräten entstehenden möglichen Gefahren ins öffentliche Interesse gerückt. Die erzeugten Felder und ihre Wirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden stehen nach wie vor in der – nicht immer sachlich geführten – Diskussion.

Begriffsklärungen

Felder sind notwendige, leider aber nicht besonders anschauliche Beschreibungen physikalischer Phänomene. Letzten Endes sind sie Eigenschaften des Raumes, die auch im absoluten Vakuum exi-

stieren. Unterschieden werden müssen elektrische und physikalische Felder.

Elektrische Felder finden sich überall dort, wo Ladungen getrennt sind und somit ein elektrisches Potential herrscht, z.B. zwischen zwei getrennten Leitern eines Stromkabels, auch wenn kein Strom fließt. Die Stärke eines Feldes wird deshalb in Potentialdifferenz geteilt durch Entfernung [V/m], angegeben.

Magnetische Felder entstehen, wenn Strom fließt. Ihre Stärke wird in der nicht mehr anschaulichen Größe Stromstärke geteilt durch Entfernung [A/m oder T(esla)] angegeben.

Wenn ein elektrisches Feld sich mit der Zeit ändert, erzeugt es ein magnetisches Feld, und umgekehrt. Mit zunehmender Frequenz

erreichen diese Wechselwirkungen ein Maß, das es nicht mehr erlaubt, jene getrennt zu betrachten. Völlig neue Eigenschaften entstehen, darunter die Ablösung des nun *elektromagnetischen* Feldes vom erzeugenden System. Exakter spricht man bei Frequenzen bis ca. 30 kHz von Feldern, darüber von Strahlung.

Gepulste Felder entstehen zum Beispiel in Sendeanlagen, die sich mit anderen Stationen die gleiche Frequenz teilen und daher nur zu bestimmten Zeitpunkten für eine festgelegte Dauer, in ihrem „Zeitfenster“ senden dürfen. Beispiel hierfür sind digitale Mobilfunkanlagen, wie sie auch von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) künftig angewandt werden. Von Bedeutung ist hier das periodische Entstehen und Zusammenbrechen der elektromagnetischen „Felder“, wodurch es zu Ein- und Ausschwingeffekten (ggf. unter erneuter Entstehung von Feldern) kommt. Dabei können auch Frequenzen entstehen, die vom Sender nicht (gezielt) erzeugt wurden. Nebenaussendungen dieser und anderer Art werden allerdings im Gerät selbst durch frequenzbestimmende Bauelemente weitgehend ausgefiltert. Alle oben genannten Effekte sind sehr stark von den räumlichen Gegebenheiten abhängig, weshalb es nicht verwundert, daß sich viele Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet nur bei genau bekanntem Versuchsaufbau reproduzieren lassen.

Die Energiemenge der Strahlung, auch Strahlungsintensität oder Leistungsflußdichte genannt, wird in Arbeit pro Flächeneinheit [W/m^2 , W/cm^2] gemessen. Sie bietet aber kein gutes Maß für die

Wirkung von Strahlung auf menschliches oder tierisches Körpergewebe. Deshalb mißt man die *Energieaufnahme* des Gewebes in Arbeit pro Masseneinheit [W/kg]. Weil die Energieaufnahme aus dem applizierten Feld eine *materialabhängige* Größe ist, benutzt man zur Charakterisierung der Wirkung der Felder auf Materialien den Begriff der Spezifischen Absorptionsrate (SAR). Sie ist eine „Stoffkonstante“, auch wenn das in bezug auf Körpergewebe eine gewisse Vereinfachung bedeutet. Zur Berechnung der SAR-Werte sind sehr aufwendige Modellrechnungen erforderlich, die im Rahmen des hier dargestellten Verbundvorhabens an der Technischen Universität Braunschweig und an der Bergischen Universität Wuppertal für die dargestellten Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die technischen Einrichtungen, die für die im folgenden beschriebenen Untersuchungen eingesetzt wurden, sind im Zusammenhang mit den Erläuterungen zu den in Bonn, Berlin und Essen durchgeführten biomedizinischen Experimenten jeweils kurz beschrieben. Detaillierte Beschreibungen finden sich in dem entsprechenden vorliegenden Abschlußbericht über die Expositionsanlagen des Verbundvorhabens „Biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder“.

Methoden und Ergebnisse

In diesem Teil des Verbundvorhabens wurde die Wirkung von elektromagnetischen Feldern, wie sie beim Einsatz von Funksystemen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) entstehen, auf menschliche und tierische Zellen untersucht. Als biologisches Versuchsmaterial dienten einzelne normale und krebsartig veränderte (entartete) Zellen. Sie stehen den drei beteiligten Instituten als gut bekannte und etablierte Modelle für biologische Wirkungen zur Verfügung.

Die Versuche im Bereich der analogen Funksysteme der BOS (180 MHz) wurden an der Universität Bonn durchgeführt. Die Untersuchungen an der Freien Universität Berlin und der Universität Gesamthochschule Essen konzentrierten sich auf Frequenzen für das künftige digitale Funksystem (380 MHz). Dabei wurde größtenteils Wert gelegt auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, die genaue Einhaltung der experimentellen Rahmenbedingungen (z.B. Temperatur, genau bekannte Feldverhältnisse und -stärken, Ausschluß von Störparametern) sowie eine saubere Planung der Experimente und eine gute statistische Aufarbeitung der Ergebnisse. Die nach genauesten Berechnungen auf das biologische Material testweise aufgebrauchten Hochfrequenz(HF)-Feld Dosen lagen in der Nähe des heute geltenden Grenzwertes von 80 mW/kg (Spezifische Absorptionsrate, SAR-Wert). Es war in allen Fällen das Ziel der Untersuchung, bekannte Funktionseigenschaften der Zellen unter normalen Bedingungen

zu messen („Kontrolle“) und im Vergleich dazu eventuelle Veränderungen dieser Eigenschaften im Experiment unter Hochfrequenzbefeldung festzustellen. Dabei mußten bei Kontrolle und Befeldungsexperiment alle Versuchsparmeter bis auf das im letzteren Fall eingeschaltete Hochfrequenzfeld gleich gehalten werden. Hinweise auf eventuell gesundheitsschädliche Wirkungen des Feldes würden sich ergeben, wenn mindestens eine der gemessenen Funktionseigenschaften der Zellen im Befeldungsexperiment wiederholbar gleichsinnige Abweichungen gegenüber der Messung im Kontrollexperiment zeigen würde.

Untersuchung im Bereich der Funkfrequenzen für analoge Funkssysteme (2-m-Band)

Im ersten Ansatz wurde in Bonn die Eigenregulation der Konzentration von Calciumionen (Ca^{2+}) in einer Zelle als eventuell durch das Feld beeinflussbare Zellfunktion untersucht. Die Selbstregulation der internen Konzentration von Calciumionen nimmt bei allen lebenden Zellen eine zentrale Funktion bei den vielfältigen Regulationsmechanismen ein, die zum Leben und normalen Funktionieren jeder Zellsorte notwendig

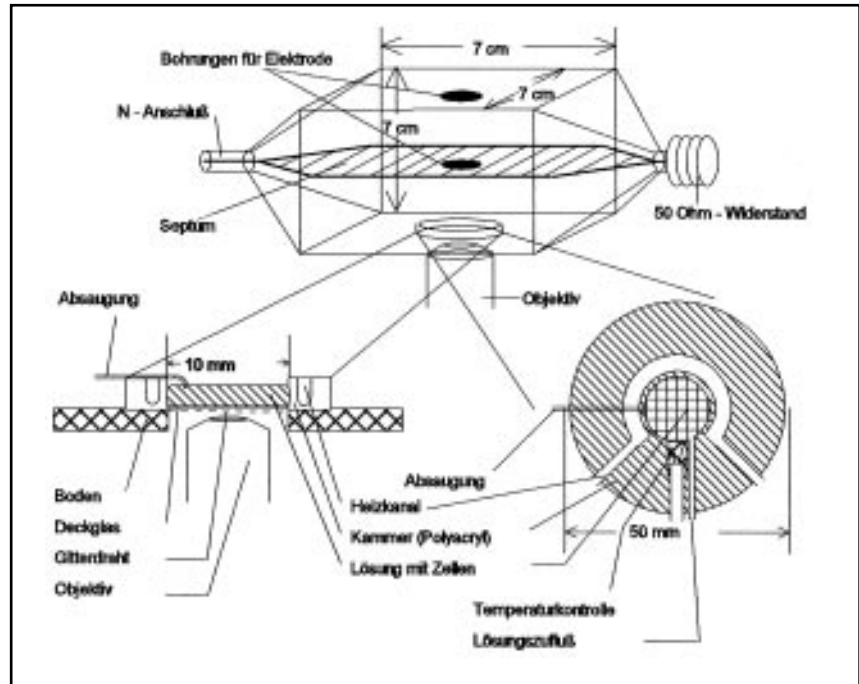


Abbildung 1: Für die Versuche in Bonn verwendete TEM-Zelle schematisch, mit Versuchskammer (unten links im Querschnitt, unten rechts in Aufsicht).

sind. Dies gründet sich auf die heute allgemein bekannte Tatsache, daß Calciumionen in den Zellen viele verschiedene Rollen als interner Signal- oder Botenstoff übernehmen. Ein entscheidendes Ereignis ist dabei das von den Zellen selbst regulierte Öffnen und Schließen von Poren in der Zellmembran (Ionenkanäle), die z.T. nur speziell für Calciumionen durchlässig sind. Dies führt zu meßbaren sogenannten „Calciumströmen“ über die Membranschranke hinweg, die entlang

eines normalerweise bestehenden Konzentrationsgradienten fließen. Daneben existieren in den Membranen auch aktive Transportmechanismen („Carrierproteine“, Ionenpumpen), die es der Zelle ermöglichen, Calciumionen auch gegen den Konzentrationsgradienten zu „pumpen“. Bestehende Konzentrationsniveaus können also von den Zellen gezielt verändert werden. Dies gilt besonders für die in dieser Hinsicht außerordentlich aktiven sogenannten „erregbaren“ Zellen, wie z.B. Nervenzellen oder Muskelzellen.

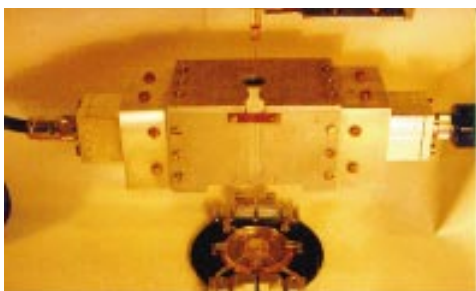


Abbildung 2: Die in Bonn eingesetzte TEM-Zelle mit angeschlossenem Koaxialkabel links und Abschlußwiderstand rechts. Die in den Boden eingebaute Versuchskammer ist herausgenommen und daher sichtbar. In der Oberseite der TEM-Zelle befindet sich eine Bohrung, in die die „patch-clamp“-Elektrode hineinragt. Die Maße der TEM-Zelle finden sich in Abbildung 1.

Nach neueren Erkenntnissen gilt der Fluß von Calciumionen durch Zellmembranen (und damit im Zusammenhang stehende Funktionsabläufe) als eine der Funktionen, die bevorzugt von außen durch die Einwirkung elektromagnetischer Felder gestört werden können.

ten. Sollten solche potentiell für die Zellen und damit für den gesamten Körper gefährliche Störungen auftreten, so müßten sie am sichersten unter Feldeinfluß durch Messung der Calciumionenströme und/oder der internen Calciumionenkonzentration direkt an isolierten einzelnen Zellen feststellbar sein.

Die in Bonn durchgeführten Experimente konzentrierten sich auf die Messung der Calciumionenströme und damit im Zusammenhang stehender meßbarer Parameter an isolierten Herzmuskelzellen, die von Meerschweinchen stammten. Die von den Versuchstieren gewonnenen Zellen haben in bezug auf die untersuchten Parameter vergleichbare Eigenschaften zu menschlichen Herzzellen. Die gewonnenen Erkenntnisse sind daher (natürlich mit gewissen Einschränkungen) auf den Menschen übertragbar. Die Herzmuskelzellen wurden unter Einwirkung des getesteten HF-Feldes sowie vor und nach der Einwirkung gemessen.

Zur Untersuchung wurden die aus einem ganzen intakten Herzen isolierten Zellen in eine Transversal Elektromagnetische (TEM-) Zelle (Abb. 1 u. 2) überführt, welche auf den Objektisch eines Mikroskops montiert werden konnte. Grob vereinfacht entspricht die TEM-Zelle einem quaderförmig aufgeweiteten Koaxialleiter. Der Mittelleiter wird darin zu einem flächigen „Septum“ in der Mitte des Quaders, die Abschirmung entspricht den Außenwänden der TEM-Zelle. Die von einem Meßsender generierte Leistung wird an der einen Stirnseite mit einem Koaxialkabel in die TEM-Zelle eingekoppelt und an der ge-

genüberliegenden Seite von einem 50 Ohm-Abschlußwiderstand aufgefangen. Die lebenden Zellproben befanden sich in einer speziellen Probenkammer mit ca. 0,2 ml Inhalt auf dem Boden in der Mitte der TEM-Zelle. Die Versorgungsleitungen (Wasserkreislauf zur Temperierung, Zu- und Abfluß frischen Zellmediums, Temperaturmeßfühler, Referenzelektrode für elektrische Ableitungen) waren seitlich durch kleine Bohrungen herausgeführt. Die Höhe und Breite der TEM-Zelle betrug 7 cm, die Feldlinien im Inneren der Zelle verliefen senkrecht zwischen Septum und Probenkammer. Zur Beobachtung und zum Auffinden geeigneter Zellen durch den Glasboden der Probenkammer hindurch mit Hilfe des (invertierten) Mikroskops verfügte die TEM-Zelle über eine runde Bodenöffnung von 10 mm Durchmesser. Zur HF-Abdichtung war in die Öffnung ein sehr fein-

maschiges Metallgitter eingelötet (Maschenweite 0,5 mm), durch welches hindurch die Zellen mit dem Mikroskop noch erkennbar waren. Da die Feldlinien in ihrem Verlauf auf die Stege des Gitters abgelenkt werden, können Bereiche entstehen, wo im Gebiet der untersuchten Zellen viel schwächere Feldstärken als gewünscht entstehen. Nach genauen Berechnungen wurde die Maschenweite des Gitters jedoch so gewählt, daß sich bereits 0,15 mm über dem Gitter – also im Bereich der untersuchten Zellen – ein homogenes Feld ausbildete. Zwei weitere runde Öffnungen mit 16 mm Durchmesser waren im Septum und im Deckel der TEM-Zelle notwendig, um die Elektrode zum Ableiten der Calciumströme von oben bis an eine einzelne untersuchte Zelle in der Probenkammer heranzuführen. Bei der Ableitungstechnik handelte es sich um die „Spannungsklemmtechnik“

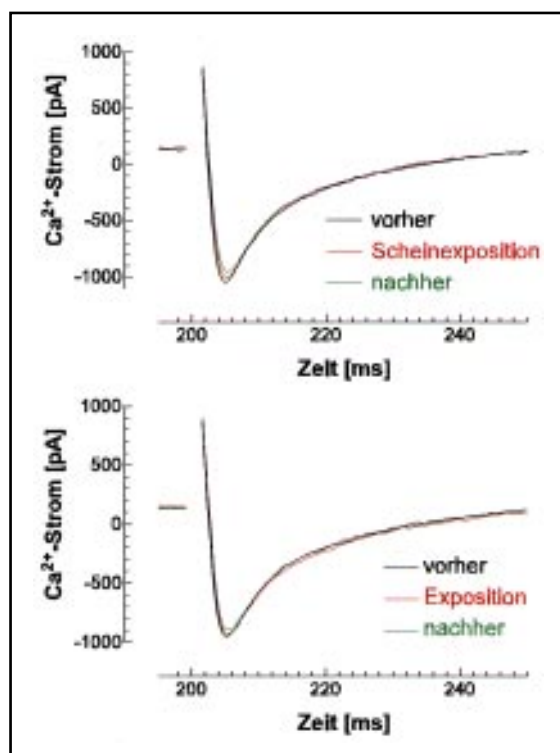


Abbildung 3: Originalregistrierungen des Ca^{2+} -Stromes durch die Zellmembran einer Herzmuskelzelle (Einstrom der Ca^{2+} -Ionen in die Zelle wird als Kurvenverlauf nach unten dargestellt). Gezeigt sind jeweils die ersten 50 ms nach Auslösung des Stromes mit der „patch-clamp“-Technik. Alle Ströme wurden unter den angegebenen Bedingungen an derselben Zelle aufgenommen, zuerst die im oberen Teilbild dargestellten, dann die im unteren Teilbild. Die Kurvenverläufe sind äußerst charakteristisch für den Zelltyp und den augenblicklichen Zustand der Zelle.

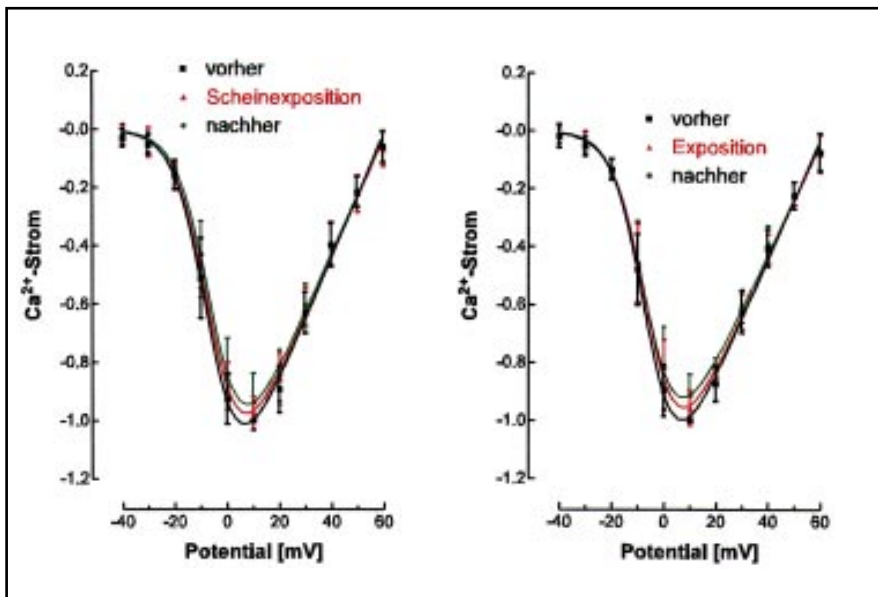


Abbildung 4: Strom/Spannungsbeziehungen des L-Typ Ca^{2+} -Stromes unter 180 MHz Feld- und Scheinexposition. Die Ca^{2+} -Ströme wurden auf den maximalen Strom vor der Feld- bzw. Scheinexposition normiert. Aufgetragen sind die (negativen) Maxima der Stromamplituden gegen das erzwungene Membranpotential, bei welchem der jeweilige Strom ausgelöst wurde. Grundlage hierfür ist eine ganze Serie von Stromaufzeichnungen (wie in Abb. 3 gezeigt), an ein und derselben Zelle abgeleitet. Glockenförmiger Verlauf und Verkleinerung der Glockenspitze mit der Zeit sind charakteristische Merkmale. Daten von 10 Zellen wurden gemittelt (\pm S.D.).

(„patch-clamp“-Technik), mit der der Strom bestimmter Ionen aus der Gesamtheit vieler Ionenströme herausgefiltert und separat gemessen werden kann (z.B. Calciumionenstrom aus einem Gemisch von Calcium-, Natrium- und Kaliumionenströmen). Modifikationen an der sehr feinen „patch-clamp“-Elektrode waren notwendig, um den relativ langen Weg vom außenliegenden Elektrodenhalter bis zum Boden der TEM-Zelle geeignet zu überbrücken.

Bei einer kontinuierlich eingespeisten Sendeleistung von 7,25 W ergab sich mit der getesteten Frequenz von 180 MHz im Bereich der Zellproben nach genauen Berechnungen ein SAR-Wert von 80 mW/kg, der genau dem Grenzwert nach DIN 0848 entspricht. Die Temperatur der Proben wurde während der gesamten Versuchsdauer bei 37 °C ($\pm 0,2$ °C) konstant gehalten. Gegenstand der Messungen waren durch die Elektrode ausgelöste Aktionspotentiale der Herzmuskelzellen sowie provozierte Calciumströme vom L-Typ (Abb. 3). Beide Parameter spie-

geln wichtige Funktionsmerkmale erregbarer Zellen wider und sind im Verlauf nach ihrer Auslösung gut bekannt. Grobe Abweichungen unter Feldexposition sollten also sofort zutage treten. Um auch feine Abweichungen erkennen zu können, wurde bei der vorliegenden Untersuchung folgendes Versuchsprotokoll bei jedem Experiment ausgeführt:

An jeder Zelle erfolgte zunächst eine Kontrollmessung bei ausgeschaltetem Sender, dann wurde der Sender eingeschaltet, und die Messung wurde an derselben Zelle wiederholt. Anschließend wurde der Sender ausgeschaltet und die Messung wurde nochmals wiederholt. Damit ließ sich das Verhalten derselben Zelle jeweils vor, während und nach der Feldexposition dokumentieren. Um zeitliche Veränderungen der gemessenen elektrischen Parameter, die unabhängig von der Feldexposition auftreten konnten, mit zu erfassen, wurde zusätzlich das gleiche Meßprotokoll an jeder Zelle nochmals ausgeführt, wobei das Feld dies-

mal auch während der zweiten Phase ausgeschaltet blieb. Bei 50 % der Zellen wurde diese zweite „Scheinexposition“ vor der eigentlichen Messung durchgeführt, bei 50 % der Zellen danach. Zur Auswertung kamen typische Parameter, wie Ruhepotential, Spitzenpotential („Overhoot-Amplitude“) und „Dauer, bis 90 % Repolarisation erreicht sind“ bei den (jeweils 10 gemittelten) Aktionspotentialen sowie maximale Stromamplitude, Strom/Spannungs-Beziehung (Abb. 4) und Öffnungsverhalten (Spannungsabhängigkeit) der „Torparameter d und f“ (zwei modellhafte „Tore“ in den Calciumkanälen, Abb. 5) für die Calciumströme. Zusätzlich wurden an 10 Zellen unter den gleichen Feldbedingungen noch Messungen provozierte Kaliumströme durchgeführt. Hierbei wurde die Strom/Spannungs-Beziehung ausgewertet. Die Daten der Aktionspotentialmessungen basieren auf Messungen an insgesamt 6 Zellen, die der Calciumstrommessungen auf Messungen an 10 Zellen.

Bei der Auswertung der Messungen zeigte sich, daß sowohl bei den Originalregistrierungen als auch bei den abgeleiteten Auswertungen keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den Kontrollmessungen (bzw. „Scheinexpositionen“) und den Messungen unter Feldeinwirkung festgestellt werden konnten. Die Kurven überlagerten sich meist perfekt (Abb. 3, 4 u. 5). Bei geringfügigen Abweichungen konnte nach den in allen Fällen durchgeführten t-Tests kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Ein Einfluß der Feldexposition ließ sich also auf keinen der gemessenen Parameter nachweisen. Dabei kam dem Verhalten der Torparameter d und f besondere Bedeutung zu, weil sie von der an der Zelloberfläche anhaftenden Ladung abhängig sind. In der Literatur wurde schon mehrfach angenommen, daß an der Zelloberfläche gebundene Ca^{2+} -Ionen durch die Einwirkung eines Feldes zu beeinflussen seien. Eine solche Veränderung müßte sich auf die Lage der Kurve des d -Parameters deutlich auswirken. Dies ist in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht eingetreten (Abb. 5).

Das Ziel dieses Teils der Studie war eine Untersuchung der aktuellen Wirkung der Felder. Das Feld wurde daher nur während der jeweiligen Messung angewendet und war dabei jeweils ca. 1-2 Minuten angeschaltet. Ob eine lang andauernde Exposition eine Wirkung hat, läßt sich aus den vorliegenden Ergebnissen nicht ableiten. In bezug auf die Frage nach einer Abschätzung des gesundheitlichen Risikos durch die getestete BOS-Frequenz kann folgendes festgestellt werden: Die

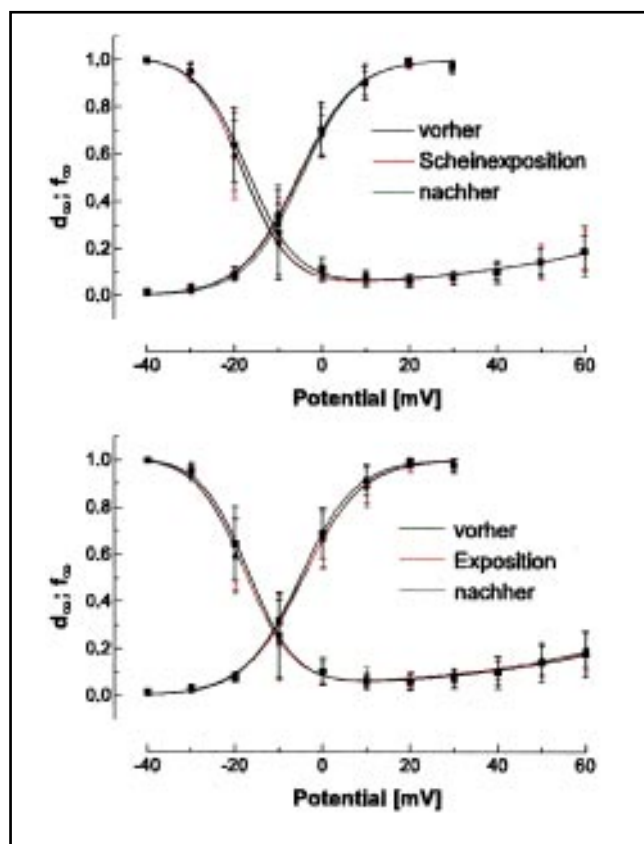


Abbildung 5: Spannungsabhängigkeit der Torparameter d und f unter 180 MHz Schein- und Feldexposition. Aufgetragen ist das aus den Originalregistrierungen (s. Abb. 3) errechnete Öffnungsverhalten der modellhaften Ionenkanaltore d und f gegen das erzwungene Membranpotential, bei welchem der jeweilige durch die Tore hindurch fließende Calciumionenstrom ausgelöst wurde. Grundlage hierfür ist eine ganze Serie von Stromaufzeichnungen (wie in Abb. 3 gezeigt), an ein und derselben Zelle abgeleitet. Ein Einfluß des Feldes ist nicht erkennbar. Gemittelte Daten von 10 Zellen (\pm S.D.).

negativen Befunde der Untersuchung erlauben es nicht mehr ohne weiteres, ältere Untersuchungen, die von einem unnatürlich vergrößerten Ca^{2+} -Ausstrom aus Zellen unter HF-Feldeinwirkung berichten, auf die Felder des Mobilfunks zu übertragen. Es wurde in dieser Studie kein Hinweis auf eine derartige Wirkung gefunden. Da die Mechanismen der Bindung von Ca^{2+} an die Zelloberfläche generell ähnlich sind, ist eine Gültigkeit der hier erhobenen Befunde auch für Nervenzellen zumindest wahrscheinlich, wenn auch nicht sicher. Inwieweit diese Befunde auch für Langzeit-

expositionen gelten, ließ sich aus den Daten nicht ablesen. Die Untersuchung wurde mit einem festgelegten SAR-Wert von 80 mW/kg durchgeführt. Nach der DIN 0848 sind für die allgemeine Bevölkerung in lokal begrenzten Bereichen bis zu 2 W/kg und für die berufliche Exposition in lokal begrenzten Bereichen sogar bis zu 10 W/kg über jeweils 6 Minuten erlaubt. Um die Grenzwerte der DIN-Norm vollständig abzudecken, wären Untersuchungen mit einem SAR-Wert von 10 W/kg für 6 Minuten notwendig, die mit der vorhandenen Ausrüstung jedoch nicht realisierbar waren.

Untersuchungen im Bereich der Funkfrequenzen für künftige digitale Funk-systeme (380 - 400 MHz)

In der zweiten und dritten Untersuchung in Essen und Berlin wurde neben drei anderen Frequenzen die Frequenz, die für künftige BOS-Funksysteme genutzt werden soll, in ihrer möglichen krebsinitiiierenden (Essen) bzw. -promovierenden Wirkung (Berlin) getestet. Es handelte sich dabei um die Frequenz 380 MHz, gepulst mit 17,65 Hz, die für die Anwendung *digitaler* Funk-systeme wie z.B. TETRA 25 vorgesehen ist. Dabei wurde in der Testapparatur laut umfangreichen feld-theoretischen Berechnungen ein mittlerer SAR-Wert von 77,7 mW/kg (Berlin) bzw. 82,9 mW/kg (Essen) im Bereich der im Experiment exponierten Zellen erzeugt. Diese Werte liegen in der Nähe des zulässigen Grenzwertes von 80 mW/kg nach DIN 0848. Bei der Bestimmung der mittleren SAR-Werte wurde die genau bestimmte thermische, zeitlich gemittelte eingespeiste Leistung von 20,83 W berücksichtigt, die während der Feldversuche in die Testapparatur eingekoppelt wurde. Diese eingespeiste mittlere Leistung ergab sich wiederum unter Berücksichtigung des in digitalen BOS-Funksystemen vorliegenden Impuls/Pause-Verhältnisses (Tast-verhältnis) von 4,32. Im Experiment wurde nur während der Burstdauer von 13,11 ms eine Leistung von 90 W eingekoppelt. Das HF-Signal wurde von einem Signalgenerator mit Pulsmodulator erzeugt und über ein Koaxialkabel in die Testapparatur eingekoppelt. Für die Versuche mit humanen Leukämiezellen in Berlin ergab sich aufgrund abwei-



Abbildung 6: Die in Berlin und Essen eingesetzte TEM-Zelle mit Einblick in den Innenraum. Der Probenhalter mit den Zellkulturröhrchen befindet sich im unteren Mittelteil der Zelle. Darüber erkennt man das isoliert aufgehängte Septum, das die Funktion des Innenleiters hat. Das Temperaturbad befindet sich rechts unterhalb der TEM-Zelle.

chender Materialparameter ein leicht geringerer SAR-Wert.

Die Testapparatur (Abb. 6 u. 7) bestand auch hier wiederum aus einer TEM-Zelle, die wegen der Größe des Halters für die Röhrchen mit Zellsuspension so dimensioniert war, daß der Abstand zwischen dem Septum und dem Außenleiter 30 cm betrug. Mit dieser TEM-Zelle konnten bei der vorgegebenen Pulsmodulation nur mit den angegebenen relativ

großen eingespeisten Leistungen die geforderten SAR-Werte im Bereich der Zellprobe (d.h. jeweils im untersten Milliliter Zellsuspension in 6 Kunststoffreagenzgläsern pro Versuch) erzielt werden. Dazu wurde ein 100 W-Leistungsverstärker zwischen Signalgenerator und TEM-Zelle geschaltet. Die eingespeiste Leistung wurde ständig mit einer hinter das Dämpfungsglied der TEM-Zelle geschalteten HF-Detektordiode gemessen und die Meßwerte zur Dokumen-

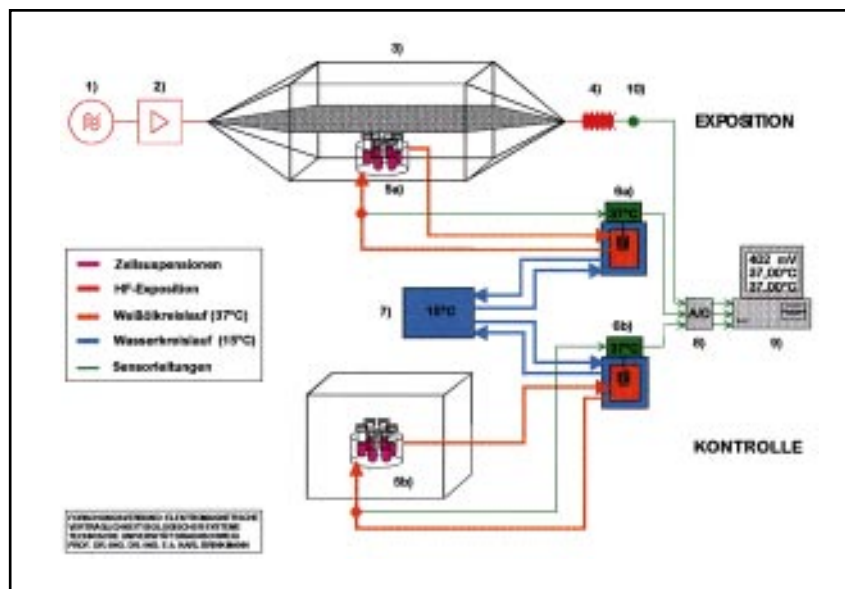


Abbildung 7: Versuchsdesign bei den in Berlin und Essen durchgeführten Untersuchungen. TEM-Zelle (oben) und HF-Abschirmbox (unten) sind mit je einem identischen Probenhalter (5a und 5b) bestückt, die über separate Wärmebäder (6a und 6b) konstant temperiert werden. Steuerung und Meßwertaufzeichnung für Temperatur und HF-Exposition erfolgen durch einen A/D-Wandler (8) und einen PC (9). Die übrigen verwendeten Geräte sind im vorliegenden Original-Abschlußbericht über die Expositionsanlagen des Verbundvorhabens „Biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder“ näher erläutert.

tation der Konstanthaltung aller Versuchsparameter im angeschlossenen Meß-/Steuerungs-PC gespeichert. Der PC speicherte außerdem die Temperaturdaten aus der TEM-Zelle und der Kontrollbox (s.u.) über die gesamte Versuchsdauer und steuerte die Temperiergeräte. Die Temperatur wurde durch einen geheizten und gegengekühlten Weißölkreislauf auf $37\text{ °C} \pm 0,1\text{ °C}$ im Bereich der Proben während der Messung konstant gehalten. Weißöl hat eine geringe relative Dielektrizitätszahl gegenüber Wasser und vermindert daher so wenig wie möglich die elektrische Feldstärke im Bereich der gemessenen Zellen. Die Zellproben in den sechs Kunststoffröhrchen wurden nach exakter Berechnung innerhalb der TEM-Zelle positioniert. Bei der Berechnung der Feldstärke bzw. der erzielten SAR-Werte in den Proben wurde beachtet, daß die Zellen auf den Boden der Röhrchen absinken. Jede Probe erhielt exakt die gleiche Dosis. Eine gleiche Anzahl Kontrollproben aus dem gleichen Kulturstamm bzw. der gleichen Blutprobe wurde bei jedem Versuch mit einem baugleichen Probenhalter in einer ebenfalls temperierten HF-Abschirmbox untergebracht. Um mögliche Einflüsse von 50 Hz-Feldern auf die Proben gering zu halten, wurden die für die Signalerzeugung, Temperierung und Protokollierung benötigten Geräte in einem Abstand von ca. 2 m von den Probenhaltern aufgestellt.

In Berlin wurden die Zellen dem HF-Feld jeweils für 24 Stunden ausgesetzt. Die Proben wurden danach sofort weiterverarbeitet und ausgewertet. In Essen wurden die Proben für 48, 52, 56, 64 und 68 Stunden exponiert und

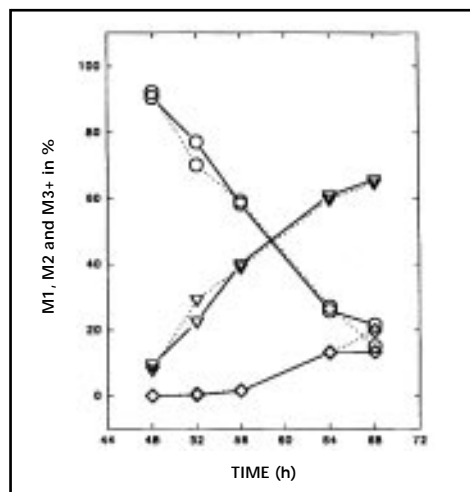


Abbildung 8: Prozentuale Anteile der Zellen, die sich zum angegebenen Zeitpunkt gerade in Teilungsphase 1 (M1, \circ), 2 (M2, ∇) oder 3 und mehr (M3+, \diamond) befanden, spiegeln die Teilungsgeschwindigkeit der kultivierten Blutzellen wider. Das in der Essener Studie untersuchte Teilungsverhalten der Lymphocyten bezieht sich auf Daten von 626 Zellen mit (gepunktete Linie) und 646 Zellen ohne (durchgezogene Linie) Befeldung. Gemittelte Werte von 15 Experimenten bzw. den Blutzellen von 15 Probanden.

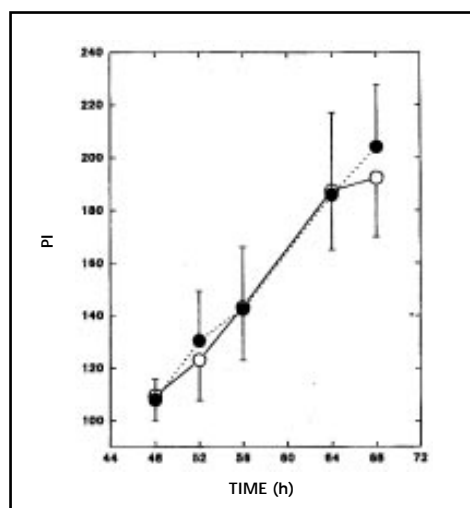


Abbildung 9: Proliferationsindexe (PI) der exponierten Zellen (gefüllte Symbole) und der Kontrollen (offene Symbole), die für jeden angegebenen Zeitpunkt aus den in Abb. 8 gezeigten Daten berechnet wurden. Die PI (Darstellung mit Standardabweichungen) geben die Vermehrungsraten der Lymphocyten zum jeweiligen Zeitpunkt wieder.

anschließend für die mikroskopische Analyse aufbereitet.

In Essen wurde der Zustand der Chromosomen in menschlichen weißen Blutzellen (Lymphocyten) untersucht, die frisch aus dem Blut weiblicher und männlicher Spender gewonnen wurden. Neben der Vermehrungsrate der Zellen wurde die Häufigkeit von Chromosomenmutationen (Schwesterchromatidenaustausch) nach Feldexposition und unter Kontrollbedingungen analysiert. Unnatürlich erhöhte Vermehrungsraten können ebenso wie gehäuft vorkommende Veränderungen der Chromoso-

men auf Krebsentstehung hindeuten, im vorliegenden Fall also auf die Entstehung von Leukämie. Schwesterchromatidenaustausch ist der Austausch von DNA (Erbsubstanz) -Molekülen in zwei einander zugeordneten Chromosomen „hälften“ während des Vorgangs der Zellteilung und deutet auf eine Schädigung der DNA hin.

Zur Durchführung wurden die Blutproben mit Kulturmedium verdünnt, das 5-Bromdesoxyuridin enthielt, das mit jedem Zellzyklus vermehrt in die DNA der Zellen eingebaut wird, weil diese die Substanz mit dem natürlichen

DNA-Baustein Thymidin verwechseln. Die Menge des eingebauten 5-Bromdesoxyuridin spiegelt bei der Chromosomenanalyse die von der jeweiligen Zelle durchlaufene Anzahl von Teilungszyklen wider. Außerdem kann beim Vergleich der Chromosomenpaare eine mögliche Mutation leicht mikroskopisch nachgewiesen werden. Damit die Chromosomen untersucht werden können, müssen die Zellen sich alle in einem bestimmten Stadium des Zellzyklus, der sogenannten Metaphase im Mitosestadium, befinden, wo die Chromosomen sämtlich einzeln unter dem Mikroskop erkennbar sind. Dies wurde durch eine abschließende zweistündige Behandlung mit dem Mitosegift Colcemid während der Exposition erreicht. Jeweils zwei Stunden vor Ende der Expositionszeit mußte die Probenkammer dazu also kurz geöffnet werden. Alle Zellen werden dadurch im Stadium ihrer Mitose „angehalten“. Nach Versuchsende wurden die Lymphozyten angereichert und fixiert sowie anschließend auf Objektträger aufgebracht. Nach mehrtägigem Trocknen wurden sie mit Standardmethoden gefärbt. Danach erfolgte die mikroskopische Auswertung.

Die frischen Blutkulturen wurden in geschlossenen Plastikreaktionsgläsern für 48, 52, 56, 64 und 68 Stunden zur Hälfte im HF-Feld exponiert und zur Hälfte einer Scheinexposition ausgesetzt und danach wie beschrieben analysiert. Für jeden angegebenen Zeitpunkt wurden 100 Zellen durch Zählen unter dem Mikroskop ausgewertet und dabei bestimmt, ob sie sich gerade in der Teilungsphase 1, 2 oder 3 und mehr befanden (Abb. 8).

Daraus konnte dann ein sogenannter Proliferationsindex berechnet werden, der ein Maß für die aktuelle Vermehrungsrate der Lymphozyten ist (Abb. 9). Diese Proliferationsindexe wurden statistisch auf signifikante Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Zellgruppen hin getestet. Die Häufigkeit des Schwesterchromatidenaustausches (Abb. 10) wurde an 50 Zellen ermittelt, die 56

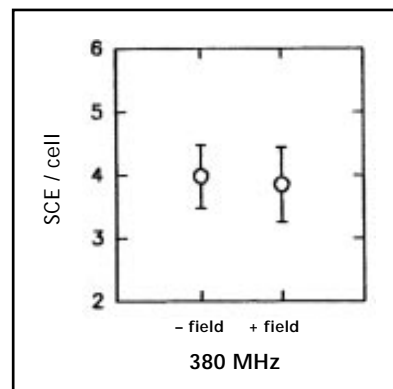


Abbildung 10: Durchschnittliche Anzahl von Schwesterchromatidenaustauschen (SCE) pro Zelle (\pm S.D.) mit (+) und ohne (-) Befeldung nach 56 Stunden Feldeinwirkung bzw. Kontrollbedingungen bei der Untersuchung in Essen.

Stunden exponiert bzw. scheinexponiert waren und sich in der 2. Teilungsphase befanden. Hierbei konnte die durchschnittliche Anzahl von Schwesterchromatidenaustauschen pro Zelle für die beiden Gruppen statistisch gegeneinander auf einen signifikanten Unterschied hin geprüft werden.

Die statistischen Tests für die Proliferationsindexe ergaben für alle drei Klassen (Teilungsphase 1, 2 oder 3 und mehr) zu allen Zeitpunkten keine signifikanten Unterschiede, was auf keine er-

höhte Zellvermehrung unter der getesteten Feldeinwirkung schließen läßt. Auch auf den Schwesterchromatidenaustausch, also die genetische Veränderung der DNA, konnte anhand eines t-Tests bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit kein Einfluß des HF-Feldes nachgewiesen werden. Es ergaben sich mit und ohne Feldeinwirkung im Durchschnitt 4 Schwesterchromatidenaustausche pro Zelle (Abb. 10).

Insgesamt ergaben sich also durch keinen der getesteten Parameter Hinweise auf einen schädlichen Einfluß der überprüften BOS-Funkfrequenz auf die kultivierten Lymphozyten aus menschlichem Blut.

In der dritten Untersuchung in Berlin wurde die Zellvermehrung von menschlichen Tumorzellen getestet, die in Kultur gehalten wurden. In diesen Versuchen wurde nicht die mögliche *Entstehung* (Initiation) einer Krebserkrankung geprüft, sondern die eventuell stattfindende *Wachstumsbeschleunigung* (Promotion) einer bereits entstandenen Zellentartung. Die Tumorentstehung beinhaltet die Umwandlung von normalen Körperzellen in bösartige Tumorzellen (also die Umwandlung der Erbinformation der Zellen), während die Tumorpromotion Verstärkungseffekte an solchen umgewandelten Zellen beschreibt. Verstärkungseffekte betreffen die Ausbreitungstendenz und -geschwindigkeit sowie den Entartungsgrad eines Tumors und damit sein Aggressionspotential. Dieses ist entscheidend, denn je aggressiver bösartige Zellen reagieren, desto weniger greifen Schutz- und Abwehrmechanismen im menschlichen Gesamtorganismus.

Es wurden Zellen vom Typ HL-60 untersucht, das sind menschliche entartete Knochenmarkszellen, die nach ihrer Umwandlung in Krebszellen ins Blutssystem auswandern und damit zu Leukämiezellen werden. Die Zellen wurden ehemals einem Spender entnommen und können seitdem im Labor weiterkultiviert und in sehr großer Zahl in Form von Zellsuspensionen erforscht werden. Dabei wurde im vorliegenden Fall als maßgeblicher Parameter die Vermehrungsgeschwindigkeit der Leukämiezellen mit zwei voneinander unabhängigen Methoden überprüft. Zum einen wurde die Verdoppelungszeit der Zellen gemessen, also die im Mittel benötigte Zeit von einer Zellteilung bis zur nächsten. Im Normalfall teilen sich Krebszellen mit einer bestimmten, relativ hohen Teilungsrate unkontrolliert vom menschlichen Organismus, was ja im wesentlichen ihren krebsartigen Charakter ausmacht. Es entstehen z.B. unkontrolliert sich vergrößernde, „wuchernde“ Gewebe oder, wie im Fall der hier untersuchten Leukämiezellen, unkontrolliert sich vermehrende Zellgruppen im Blut. Ob diese unkontrollierte Vermehrung unter dem Einfluß des hier getesteten Hochfrequenzfeldes noch weiter beschleunigt wird, war Gegenstand der Untersuchung. Mit einer zweiten Methode wurde die Herstellung und darauffolgende Freisetzung eines bestimmten Enzyms (Thymidinkinase) durch die Zellen, ebenfalls als direktes Maß für ihre Vermehrungsgeschwindigkeit, gemessen. Thymidinkinase ist in den Zellen am Vorgang der zur Zellteilung nötigen Vervielfachung der Erbsubstanz (DNS-Synthese, DNS-Reduplikation) beteiligt. Das Enzym wird

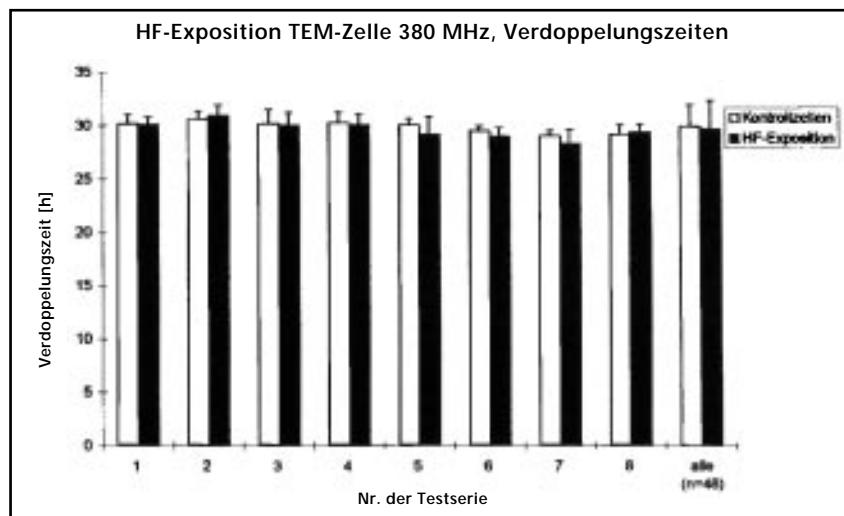


Abbildung 11: Verdoppelungszeiten der Zellen (in Stunden) in 8 Testläufen (in Berlin durchgeführt) mit je 6 Proben (schwarze Säulen) und 6 Kontrollproben (graue Säulen). Die Standardabweichungen sind oben auf den Säulen angezeigt.

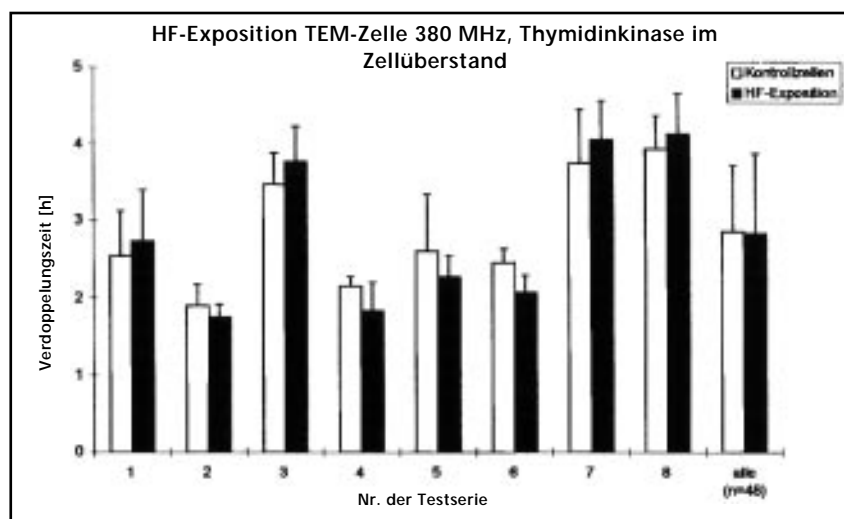


Abbildung 12: Thymidinkinasegehalte in der Kulturflüssigkeit (in Units pro Liter) von je 6 Zellkulturproben (schwarze Säulen) und 6 Kontrollproben (graue Säulen) aus 8 Testläufen der Berliner Studie. Die Standardabweichungen sind oben auf den Säulen angezeigt. An den sehr unterschiedlichen Säulenhöhen von Testlauf zu Testlauf erkennt man die starken Grundschwankungen der Meßmethode im Gegensatz zur Messung der Verdoppelungszeiten in Abb. 11. Die äußerst rechte Doppelsäule in Abb. 11 und 12 zeigt jeweils eine Mittelung über alle 8 Testläufe.

deshalb bei sich stark vermehrenden Zellgruppen in erhöhtem Maße in den Zellen aber auch in der umgebenden Körperflüssigkeit (bzw. in der Kulturflüssigkeit) gefunden und nachweisbar. Die Menge an nachgewiesener Thymidinkinase in der Kulturflüssigkeit

(Thymidinkinaseaktivität) korreliert mit der Zellteilungsgeschwindigkeit in dieser Zellkultur. Eine solche Nachweismethode gibt daher ein direktes Maß für den gerade vorhandenen Grad der Zellentartung, d.h. die Schwere und das Ausmaß (Aktivitätsgrad

der Krebszellen) der Krebserkrankung wieder. Klinisch-diagnostisch wird die Methode angewandt, um durch Analyse der Körperflüssigkeit (Blutserum) das Vorhandensein bestimmter Krebserkrankungen, bzw. auch die Vermehrungsrate bereits entdeckter Krebszellen, zu überprüfen. Der Gehalt an Thymidinkinase im Blutserum von Krebspatienten kann bei sich stark vermehrenden Krebsherden bis auf das Hundertfache gegenüber gesunden Menschen gesteigert sein.

Bei der Auswertung wurden jeweils die exponierten Zellproben mit den zugehörigen Kontrollproben statistisch verglichen, daneben wurden auch die Mittelwerte aller exponierten und der Kontrollproben für beide auszuwertenden Parameter statistisch gegeneinander getestet. In 8 Testläufen mit je 6 Proben konnten somit insgesamt 48 HF-exponierte Proben und 48 Kontrollen hinsichtlich ihrer Verdoppelungszeiten (Abb. 11) und des Thymidinkinasegehaltes im Kulturmedium (Abb. 12) miteinander verglichen werden.

Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den HL-60-Kontrollzellen und den im Hochfrequenzfeld exponierten HL-60-Zellen, weder beim Vergleich der Verdoppelungszeiten noch beim Vergleich der Thymidinkinasegehalte im Kulturmedium. Nicht einmal tendenzielle Unterschiede wurden im Gesamtspektrum der Proben sichtbar. Somit war ein Feldeffekt (eine Wirkung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder) auf die verwendeten Zellen nicht festzustellen. Die Teilstudie kommt zu dem Schluß, daß

sich für die untersuchte BOS-Funkfrequenz bei der angewandten Dosis „mit den Prüfparametern Verdoppelungszeit und Thymidinkinaseaktivität eine zusätzliche Promotion bereits krebsartig veränderter menschlicher weißer Blutzellen (Leukämiezellen) ausschließen läßt.“

Gesamtergebnis

Alle drei Teilstudien kommen zu dem Ergebnis, daß die exemplarisch ausgeführten Befeldungsexperimente mit den dabei überprüften BOS-Sendefrequenzen keinen Anlaß zur Befürchtung gesundheitlicher Risiken für die Anwender geben. Es wurden bewußt Zelltypen für die Untersuchungen ausgewählt, die potentiell relativ empfindlich auf äußere Einflüsse oder physiologische Störungen reagieren können. Die Aussagen der Studien decken dabei den Stärkebereich der Felder bis zum zulässigen SAR-Grenzwert von 80 mW/kg ab, der im Bereich der nicht thermischen Einwirkung von elektromagnetischen Feldern liegt.

Die in Bonn durchgeführte Studie konzentrierte sich auf mögliche Wirkungen der untersuchten HF-Felder auf die Funktion von Herzmuskelzellen, im weiteren Sinne also auf eine mögliche Beeinflussung des Herzschlagrhythmus. Verschiedene ältere Publikationen berichten über eine solche Beeinflussbarkeit unter Einwirkung von HF-Feldern unterschiedlicher Frequenzen und Pulsmuster (siehe Diskussion im Original-Abschlußbericht). Als Ursache wurden dabei im wesentlichen veränderte Flußraten von Ionen durch Ionen-

kanäle (hauptsächlich Ca^{2+} -Ionen) oder Veränderungen des Bindungsverhaltens von Calciumionen an die Zelloberfläche (was sich dann auch wieder auf den Ionenfluß auswirken würde) festgestellt. Beide Phänomene haben im normal funktionierenden Herzmuskel Einfluß auf die Herzschlagfrequenz. Beide Arten von Veränderungen wurden in der Bonner Studie unter Feldeinfluß nicht festgestellt, jedoch wird betont, daß „die Befunde dieser Arbeit nicht die älteren Studien, die bei anderen Feldbedingungen durchgeführt wurden, falsifizieren“. Mit der Messung der Ca^{2+} -Bindung an die Zelloberfläche sowie der Größe der Calcium- und Kalium-Ionenströme wurden wesentliche Parameter bestimmt, die die Schlagfrequenz des Herzens bestimmen, es sind allerdings nicht die einzigen Parameter, die hierbei eine Rolle spielen. Einschränkung wird weiterhin festgestellt, daß das Feld bei der vorliegenden Bonner Untersuchung jeweils nur ca. 1-2 Minuten eingeschaltet war. „Ob eine langdauernde Exposition eine Wirkung hat, läßt sich aus den vorliegenden Ergebnissen nicht ableiten.“ Auch sei es in Zukunft von Interesse, andere bekannte Signalübertragungswege in der Zellmembran der untersuchten Zellen unter den gewählten experimentellen Bedingungen zu erforschen. Entsprechende Veränderungen unter Feldeinwirkung, die von anderen Arbeitsgruppen z.B. bei kultivierten Skelettmuskelzellen gefunden wurden, könnten mit den hier interessierenden Feldbedingungen an den gleichen Zellen überprüft werden. Abschließend wird in der Bonner Studie bemerkt, daß „die negativen Befunde dieser Untersuchung es

nicht mehr ohne weiteres erlauben, die alten Arbeiten, die von einem vergrößerten Ca^{2+} -Efflux (Ausstrom) unter hochfrequenten Feldern berichten, auf die Felder des Mobilfunkes zu übertragen. Es wurde in dieser Studie kein Hinweis auf eine derartige Wirkung gefunden. Da die Mechanismen der Bindung von Ca^{2+} an die Zelloberfläche generell ähnlich sind, ist eine Gültigkeit der hier erhobenen Befunde für neuronale Zellen (Nervenzellen) zumindest wahrscheinlich, wenn auch nicht sicher.“ Es seien außerdem, um die DIN-Norm ganz abzudecken, Versuche mit 10 W/kg für sechs Minuten notwendig. Solch hohe SAR-Werte ließen sich mit der vorhandenen Ausrüstung nicht realisieren.

Die in der Essener Studie erhobenen Befunde werden in dem Original-Abschlußbericht nicht diskutiert. Man kommt zu der Schlußfolgerung, daß „bei keinem der getesteten Parameter ein signifikanter Einfluß von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf menschliche periphere Lymphozyten in Kultur gefunden wurde.“

Es wurde nach Einflüssen auf das Teilungsverhalten der Zellen und auf die Häufigkeit (auch natürlicherweise) vorkommender DNA-Schäden gesucht. Für beide Einflüsse gibt es – unter anderen Feldbedingungen – Hinweise aus aktueller Literatur sowie aus der Essener Arbeitsgruppe selbst. Dort wurde in früheren Untersuchungen eine signifikante Beschleunigung der Zellteilungsrate in Zellen des gleichen Typs unter Einwirkung eines niedrig dosierten 50 Hz-Feldes gefunden. Häufigere DNA-Schädigungen wurden

dabei nicht festgestellt. Es wird betont, daß (ähnlich wie in der Bonner Studie) Membranvorgänge und der Fluß von Calciumionen, besonders in der Stimulationsphase der Zellteilung, eine große Rolle spielen. Diese Faktoren gelten als Ansatzpunkte für eine mögliche Beeinflussbarkeit durch elektromagnetische Felder. Daß gerade diese Aspekte im Rahmen des durchgeführten Programms nicht untersucht werden konnten, zeigt, in welche Richtung weiterführende Forschung auf diesem Gebiet gehen könnte. Der offensichtliche Zusammenhang zwischen der Untersuchung von menschlichen weißen Blutzellen und einem möglicherweise unter Feldeinfluß erhöhten Blutkrebsrisiko (als mögliches Untersuchungsziel) wird in dem Originalbericht nicht hergestellt.

Bei der in Berlin durchgeführten Studie stand als Untersuchungsfeld eindeutig das Krankheitsbild der Leukämie im Vordergrund. Hier wurden, anders als in Essen, bereits krebsartig veränderte weiße Blutzellen untersucht, die von vornherein schon erhöhte Teilungsraten gegenüber gesunden Blutzellen aufweisen. Bei einem positiven Befund unter Feldeinwirkung wäre hierbei also, medizinisch gesehen ausschlaggebend gewesen, daß natürliche im Körper vorkommende Reparatur- und Unterdrückungsmechanismen eventuell machtlos werden könnten gegen eine durch die Feldeinwirkung noch weiter gesteigerte Teilungsaktivität entarteter Zellen. Entartete Zellen kommen in relativ geringer Zahl jederzeit natürlicherweise in jedem Körper vor und werden normalerweise durch körpereigene Mechanismen daran gehindert,

mit unkontrollierter Teilungsaktivität zur Entstehung einer krebsartigen Erkrankung beizutragen. Die Kriterien für einen nachweisbaren Feldeffekt in der vorliegenden Studie waren demzufolge (a) eine vielfache Steigerung der Zellteilungsgeschwindigkeit und (b) eine deutliche Steigerung der Thymidinkinase-Freisetzung der Zellen (und damit meßbar höhere Konzentration in der Kulturflüssigkeit). Bei Krebspatienten werden in der Blutflüssigkeit bis zu hundertfach gesteigerte Thymidinkinase-Konzentrationen gefunden. Unter beiden Kriterien wurden negative Befunde ermittelt, so daß sich „... eine zusätzliche Promotion (Verstärkungseffekt in Ausbreitungstendenz und -geschwindigkeit sowie Schwere der Entartung) bereits transformierter humaner weißer Blutzellen (Leukämiezellen) nicht nachweisen läßt.“

Eine einzelne entartete Blutzelle verursacht also noch keine Blutkrebskrankung, und genau in diese Blickrichtung zielte die Berliner Studie mit ihrem Untersuchungsgegenstand: Kann die getestete Feldwirkung dazu führen, daß im Körper einige entartete Lymphozyten durch stark überhöhte Teilungsaktivität körpereigene Gegenmechanismen überwinden und eine Krebserkrankung ausbrechen lassen? Im Reagenzglas ergaben sich keine Hinweise darauf. Einschränkungen der Aussagekraft, wie bereits in bezug auf Expositionsdauer und Felddosierung zur Bonner und Essener Studie angemerkt, treffen dabei auch hier zu und geben Hinweise auf offene Fragen und die mögliche weitere Vorgehensweise auf diesem Gebiet der Forschung.

Research Project „Biological Effects of High Frequency Electromagnetic Fields“:

Partial Report on the Investigated BOS-Radio Frequencies

Agencies and organizations with security tasks (in German: Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, BOS) need special radio equipment and communication systems for the fulfillment of their missions. The widespread use of that kind of equipment leads to significant numbers of this equipment and numerous applications. Users of such equipment and systems live at least in their services life often in the vicinity of the transmitting antennas and, therefore, are subject to low-energetic electromagnetic fields.

In the context of the supreme combined research theme „Biological effects of high frequency electromagnetic fields“, an important part of the „BOS“-communication frequencies was studied with respect to their effect on human and animal cell behavior (the investigation concerned healthy cells as well as degenerated/cancerogeneously deviated cells). Working groups in the three Universities of Berlin (FU), Essen and Bonn focused either on cell growth processes of human tumor cells or peripheral lymphocytes or heart muscle cells. They were joined by two other groups from the University of Braunschweig and the Bergische

Universität Wuppertal, these were responsible for the reproducible microwave exposure of the cells – the experimental setup. Intentionally, cells were selected for these tests which show a potentially high sensitivity against external influences. They were irradiated with electromagnetic fields up to the maximum allowable Specific Absorption Rate-(SAR)-Limit of 80 mW/kg.

In Berlin, the group at the Institute for Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry investigated the growth of human tumor cells, with the prime concern of Leukemia mechanisms. Subjects of the investigation were cells, which showed already cancer-like changes, these white blood-cells had a priori higher duplication rates than intact cells. The idea was, to see whether the body's normal biological repair and suppression mechanisms against these ill cells were negatively influenced by external electromagnetic fields. Thus, the two main criteria of Thymidinkinase-Concentration and separation/duplication rate of the cells were investigated. This in vitro-study revealed no indication for any negative influence.

The Department of Genetics in the Universität-Gesamthoch-

schule Essen used peripheral lymphocytes for their experiments. None of the tested parameters showed a significant influence due to the applied electromagnetic fields. Cell division rates and DNA damage were of primary concern. The Physiological Institute of the University of Bonn investigated the behaviour of heart muscle cells. In a wider sense, this includes research of possible influence on the heart rhythm, as indicated in previous studies by other authors. They supposed that this might be in context with changed flow-rates of ions through the ion channels (mainly Ca^{2+}) or changed Ca-adsorption to the cell surface. Both sorts of changes could not be verified in the actual research, but: This does not devaluate the previous studies. The exposition to electromagnetic fields was limited to 1...2 minutes. So, the question of long-term exposure can not yet be fully answered.

The result of the work of all groups may be somewhat disappointing for the researcher, but satisfactory for the users: There was no cause, mechanism or effect revealed which justifies concern in view of a health risk for the users.



Impressum

Edition Wissenschaft der FGF e.V.

Herausgeber: Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Rathausgasse 11a,
D-53111 Bonn, Telefon: 0228 / 72622-0, Telefax: 0228 / 7262211

Redaktion: Gerd Friedrich (verantw.)

Grafik, Satz, Layout: Autoren Societät, Bonn

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. durchgeführt. Die Berichte geben die Meinungen der Autoren wieder und stellen daher nicht unbedingt auch die Meinung der FGF dar.

ISSN 1430-1458