

Abschlußbericht:

**Verbundvorhaben: Biologische Wirkungen  
hochfrequenter elektromagnetischer Felder**

Forschungsverbund:

Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme

Technische Universität Braunschweig

Postfach 33 29

38023 Braunschweig

November 1994

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Karl Brinkmann

Forschungsverbund: Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme

Technische Universität Braunschweig

Postfach 33 29, 38023 Braunschweig

Tel.: 0531/3917738

Fax: 0531/3918200

## Vorwort

Beim Einsatz von Mobilfunkgeräten setzt sich der Nutzer der Wirkung elektromagnetischer Strahlung aus. Deshalb muß sichergestellt werden, daß der Nutzer keine körperliche Schädigung erleidet. Zur Vermeidung von Schäden ist der Hersteller verpflichtet, Normenvorschriften einzuhalten. Diese Normen beruhen auf der Kenntnis der thermischen Wirkungen elektromagnetischer Strahlung. Bekannt ist, daß bei einer Strahlungsleistung von 4 W/kg tierisches und damit vermutlich auch menschliches Gewebe sich um 1°C erwärmt [1]. Um die allgemeine Bevölkerung vor solcher Schädigung zu schützen, ist ein fünfzigstel dieses Wertes als SAR-Grenzwert von 80 mW/kg vorgeschrieben. Bei Einhaltung dieses Wertes treten sicher keine thermischen Wirkungen auf.

In letzter Zeit ist aber verschiedentlich darauf hingewiesen worden, daß elektromagnetische Felder auch athermische Wirkungen haben könnten. Festzustellen, ob solche Wirkungen auftreten, ist Inhalt unseres Forschungsvorhabens.

Es ist sinnvoll und üblich, solche Wirkungen am biologischen Verhalten tierischer oder menschlicher Zellen zu beobachten. Die Zellen befinden sich in einer Nährflüssigkeit und werden für eine geeignete Zeitdauer einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld ausgesetzt. Um Fremdeinflüsse eliminieren zu können, wird parallel eine Vergleichsprobe, ohne einem hochfrequenten Feld ausgesetzt zu sein, beobachtet. Unterschiedliches Verhalten der Zellen mit und ohne Exposition kann dann nur durch den Einfluß des elektromagnetischen Feldes verursacht sein. Offen muß allerdings bei dieser Untersuchungsmethode bleiben, ob diese Wirkungen auch Schädigungen hervorrufen. Das könnte nur durch Versuche am Gesamtorganismus geklärt werden. Richtig bleibt aber, wenn keine oder nur vernachlässigbare Wirkungen auftreten, können auch keine Schädigungen vorhanden sein. Untersucht wurden Lymphozyten gesunder männlicher Spender (Arbeitsgruppe Eberle, Braunschweig), Herzmuskelzellen und Lymphozyten (Arbeitsgruppe Meyer, Bonn) und humane Leukämiezellen (Arbeitsgruppe Fitzner, Berlin). Die Exposition erfolgte mit 440 MHz (C-Netz), 900 MHz (D-Netz) und 1800 MHz (E-Netz). Im D- und E-Netz wurden pulsmodierte Signale verwendet. Die

Nährflüssigkeit wurde auf  $37^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  konstant gehalten. Die Probenhalter mit Zellen, Nährflüssigkeit und Weißöl zur Temperaturkonstanthaltung waren bei den Arbeitsgruppen Eberle und Fitzner mit Abmessungen von 10 cm relativ groß. Bei der Arbeitsgruppe Meyer mit Abmessungen von 1 cm entsprechend kleiner.

Die elektromagnetischen Felder sollten ohne störende Prüfobjekte in ihrer Struktur möglichst homogen sein. Dazu wurden geeignete Wellenleiter (Arbeitsgruppe Elsner / Neibig, Braunschweig) bereitgestellt. Diese Wellenleiter sind metallisch geschlossene Räume, so daß die inneren Hochfrequenzfelder nicht nach außen störend wirken können und fremde Felder nicht in den Meßraum verfälschend eindringen können.

Die Leistung, die der Wellenleiter am Ort des Prüfobjektes zur Verfügung stellt, ist wesentlich höher als die Leistung, die die Nährflüssigkeit annimmt. Das liegt an den elektromagnetischen Eigenschaften der Nährflüssigkeit. Die Leistungsdichte in der Nährflüssigkeit und damit auch in den Zellen kann nicht gemessen werden. Deshalb wurde mit Kenntnis der elektromagnetischen Eigenschaften der Nährflüssigkeit und des Materials des Probenträgers die elektrische und magnetische Feldstärke in der Nährflüssigkeit berechnet. Daraus ergeben sich über die elektrische Leitfähigkeit des Materials die SAR-Werte als Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung in der Nährflüssigkeit. Die berechneten Werte konnten nur mit einigen Vereinfachungen gewonnen werden. Sie können daher maximal um den Faktor zwei nach oben oder unten von den wirklichen Werten abweichen. Die SAR-Werte sollten für alle Versuche bei  $80 \text{ mW/kg}$  bzw.  $80 \mu\text{W/cm}^3$  liegen. Das wurde nur in der Größenordnung erreicht, da die Berechnungen durchgeführt wurden, während die biologischen Untersuchungen bereits liefen. Die meisten berechneten Werte liegen unter diesen Normwerten. Außerdem sind für die athermischen Wirkungen nicht die SAR-Werte, sondern die Größen der elektrischen und magnetischen Feldstärke maßgebend. Deren Grenzwerte liegen nach DIN VDE 0848, Teil 2 bei  $100 \text{ V/m}$  bzw.  $0,3 \mu\text{T}$ . Die für die Untersuchungen verwendeten Werte liegen in der Nähe dieser Grenzwerte. Die Berechnungen ergaben ferner, daß bei den verwendeten Nährflüssigkeiten die magnetische Feldstärke im Wellenleiter durch Einbringen des Prüfobjektes nur sehr wenig verändert wird, während die elektrische Feldstärke dabei

wesentlich kleiner wird. Das geschieht auch im menschlichen Körper in gleicher Weise.

Bei 1800 MHz haben die großen Probenhalter Abmessungen in der Größenordnung der Wellenlänge. Daher sind die Felder im Probenhalter nicht mehr homogen und die berechneten SAR-Werte sind nur räumliche Mittelwerte. Eine Zuordnung der untersuchten Zellen zur SAR-Wert-Verteilung ist nicht sinnvoll, da die Zellen sich in der Nährflüssigkeit bewegen. Kleinere Probenhalter, wie sie die Arbeitsgruppe Meyer verwendet, wären hier sinnvoller gewesen.

In den folgenden vier Teilberichten sind die biologischen Grundlagen, die Meßaufbauten und die Ergebnisse dargestellt. Alle Ergebnisse lassen keine athermischen Wirkungen erkennen.

Teilbericht 1: Dipl.-Ing. *Uwe Neibig*, Technische Universität Braunschweig  
"Expositionseinrichtungen"

Teilbericht 2: Dr. rer. nat. *Susanne Diener*, Prof. Dr. rer. nat. *Paul Eberle*,  
Technische Universität Braunschweig  
"Zellproliferation, Schwesterchromatidaustausche,  
Chromosomenaberrationen, Mikrokerne und Mutationsrate des  
HGPRT-Locus nach Einwirkung von elektromagnetischen  
Hochfrequenzfeldern (440 MHz, 900 MHz und 1,8 GHz) auf  
humane periphere Lymphozyten"

Teilbericht 3: Dr. rer. nat. *Rainer Meyer*, Universität Bonn  
"Der Einfluß hochfrequenter elektromagnetischer Felder des  
Mobilfunks auf die Calcium-Homöostase von Herzmuskelzellen und  
Lymphozyten"

Teilbericht 4: Dr. med. *R. Fitzner*, *E. Langer*, Freie Universität Berlin  
"Untersuchung über Krebspromotion von hochfrequenten  
elektromagnetischen Feldern (Kurzzeit-Zelluntersuchungen)"

## Literatur

- [1] *Heinrich Baggenstoes*, "Dosimetrische Untersuchungen zum Mobilfunk", Kleinheubacher Berichte, Band 37 (1993), S. 589