

EMF risk assessment: "in vitro" research and sleep studies

Doctoral Thesis

Author(s):

Schuderer, Jürgen Rudolf

Publication date:

2004

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004752056>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 15347

EMF Risk Assessment: "In Vitro" Research and Sleep Studies

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

JÜRGEN RUDOLF SCHUDERER

Dipl.-Phys. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im
Breisgau

born 26. 10. 1972

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. W. Fichtner, examiner

Prof. Dr. N. Kuster, Prof. Dr. T. Nojima, co-examiner

2003

Summary

Mobile communication systems have experienced a spectacular growth in use during the last decade. According to recent estimations, the population base of daily users will soon exceed the billion threshold. In addition to mobile phones, a wide market penetration is also prognosticated for new applications of wireless in- and on-body communications.

Long-term exposure to any environmental factor capable of tissue interaction needs to be analyzed with respect to possible health risks. Therefore, it is reasonable that the public and health authorities demand a careful risk assessment of this new technology. However, looking back to 10 years of research with cell, animal and human exposure experiments, different findings have emerged and no clear scientific evidence could be provided. The conflicting data may have resulted from poorly defined exposure scenarios.

This thesis deals with the development and characterization of optimized exposure systems for *in vitro* and human laboratory studies. For this purpose the newest numerical and experimental methods have been used; these methods were largely unavailable in the past, particularly a key feature like electro-thermal field simulation.

Until present, the experimental exposure characterization *in vitro* could not be performed sufficiently, because of large dimensions and low sensitivity of the probes. In this thesis a novel ultra-small temperature probe was designed and fully characterized. The probe consists of a thermistor sensor, based on a $50\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ layer of amorphous Germanium. RF immunity is reached by using high resistivity for the sensor and leads. As a result of the short response time and the high sensitivity of the probe, the strong absorption gradients within RF

exposed cell medium were successfully resolved.

It has been discussed in the framework of *in vitro* laboratory studies, whether the meniscus, as occurring at the interfaces between cell medium and Petri dish, may have an effect on the absorption distribution. This issue was solved in this thesis by a detailed numerical analysis. It is shown that a numerical dosimetry based on a flat model of the cell medium surface as it is widely used, can lead to a significant underestimation of the actual absorbed power within in the entire volume.

Three novel *in vitro* exposure systems were realized for the mobile communication frequency bands of GSM 900 MHz, DCS 1800 MHz and UMTS 1950 MHz. Furthermore, an additional system for extremely low frequency magnetic fields was developed in order to analyze the field exposures resulting from electrical power-supply systems. The advantages of the setups presented in this thesis compared to their predecessors are: (1) uniform field distribution at high power efficiency, (2) realistic numerical modeling, (3) comprehensive numerical and experimental analysis of the field distribution, uncertainties, variations and all sorts of artifacts, (4) monitoring and control of exposure and environmental parameters, (5) complex signal schemes with high relevance for health risk assessment and (6) easy handling.

Because of these properties, the new exposure systems have emerged to become standard for the European research programs (REFLEX, PERFORM B, etc.). Within these research activities, previously unknown effects of non-ionizing radiation have been discovered and are currently widely discussed (e.g., DNA strand breaks and changes in gene and protein expression).

The last part of this thesis is dedicated to human studies, especially to the effects of GSM exposure on human sleep. For that purpose a novel exposure system has been developed and dosimetrically analyzed. The setup induces a defined unilateral field distribution inside the head that (1) covers all brain regions which can be exposed by mobile phones, (2) has only low sensitivity to head movements or anatomical variations between subjects and (3) was comprehensively analyzed by numerical and experimental dosimetry (absorption for functional sub-regions of the brain are distinguished).

The experiments with the human exposure setup resulted in novel, reproducible findings: It was shown that GSM exposure leads to

changes in sleep EEG spectrum with an effect outlasting the exposure and dependent upon the low frequency pulse modulation. Additionally, for the first time, effects of RF exposure on the cerebral blood flow in the brain were shown.

Based on the present results as derived from the *in vitro* and human studies, it would be premature to draw conclusions about health consequences of EMF exposure. The findings need to be independently replicated and the interaction mechanisms must be isolated for clarifying the relevance of the issues.

Zusammenfassung

Die Nutzung mobiler Kommunikationssysteme hat in den vergangenen Jahren einen spektakulären Anstieg erfahren. Nach aktuellen Schätzungen übersteigt der Bevölkerungsanteil von Mobilfunkanwendern schon bald die Milliardenmarke und für neue Anwendungen drahtloser Kommunikation am und im Körper wird ein beachtlicher Markt prognostiziert.

Die Langzeitexposition jeglicher Umweltfaktoren, die in der Lage sind mit biologischem Gewebe in Wechselwirkung zu treten, muss hinsichtlich ihrer Gesundheitsrisiken untersucht werden. Deswegen ist es verständlich, dass die Öffentlichkeit und auch die Gesundheitsbehörden eine sorgfältige Risikoabschätzung fordern. Die diesbezüglich in den letzten 10 Jahren durchgeführten Laborstudien führten jedoch nicht zu aussagekräftigen Resultaten. Eine mögliche Erklärung dafür liegt in den unzureichend definierten und nur schwer vergleichbaren Expositionsbedingungen, die bei diesen Studien an Zellen, Tieren und Menschen vorhanden waren.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Charakterisierung optimierter Expositionseinrichtungen für *in vitro* und Humanstudien. Hierzu wurden neuste numerische und experimentelle Methoden angewandt, die für bisherige Studien noch nicht zur Verfügung standen, wie etwa die elektro-thermische Feldsimulation, der hier eine bedeutende Rolle zukommt.

Vor allem war bisher die experimentelle Expositionscharakterisierung *in vitro* nicht ausreichend möglich, da die vorhandenen Sonden zu gross und nicht empfindlich genug waren. In dieser Doktorarbeit wurde ein neuartiger, stark miniaturisierter und hoch sensitiver Temperatursensor entwickelt und vollständig charakterisiert. Der Sen-

sor basiert auf dem Thermistorprinzip und besteht aus einer $50\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ Schicht amorphen Germaniums. Durch hochohmige Zuleitungen ist die Sonde immun gegenüber äusseren elektromagnetischen Feldern. Dank seiner schnellen Ansprechzeit und hohen thermischen Empfindlichkeit konnten die starken Absorptionsgradienten in exponierten Zellmedien gemessen werden.

Im Rahmen von *in vitro* Laborstudien wurde diskutiert, ob der Meniskus, welcher sich an der Grenzfläche zwischen Zellmedium und Gefässwand ausbildet, möglicherweise Einfluss auf die Absorptionsverteilung ausübt. Diese Fragestellung wurde in vorliegender Arbeit mit einer detaillierten numerischen Analyse geklärt. Hierbei hat sich ergeben, dass eine numerische Dosimetrie mit einer flachen Flüssigkeitsoberfläche, wie sie in der Regel früher angewandt wurde, zu signifikanten Unterschätzungen der absorbierten Leistung im Zellmedium führen kann.

Für die mobilen Kommunikationsfrequenzen GSM 900 MHz, DCS 1800 MHz und UMTS 1950 MHz wurden drei neuartige *in vitro* Expositionssysteme realisiert. Darüber hinaus wurde auch ein System für extrem niederfrequente Magnetfelder entwickelt, welches zur Analyse von Feldexpositionen elektrischer Versorgungssysteme benutzt wird. Die in dieser Arbeit entwickelten Anlagen heben sich von den bisherigen durch folgende Eigenschaften ab: (1) gute Feldhomogenität bei grosser Leistungseffizienz, (2) realitätsnahe numerische Modelle, (3) vollständige numerische und experimentelle Analyse von Feldverteilungen, Unsicherheiten, Variationen und möglichen Artefakten, (4) Kontrolle und Aufzeichnung der Feldexposition sowie von Umgebungsparametern, (5) komplexe Signale mit hoher Relevanz zur Risikoabschätzung, (6) einfache Handhabung.

Diese Eigenschaften haben dazu geführt, dass sich die hier vorgestellten Anlagen zu einem Standard im europäischen Forschungsprogramm entwickelt haben (Verwendung in den EU Projekten REFLEX, PERFORM B, etc.). Bis dato unbekannte Effekte nicht-ionisierender Strahlung wurden in diesem Rahmen entdeckt und stehen derzeit im öffentlichen Diskurs (z. B. DNA Strangbrüche und Veränderungen in Gen- und Proteinexpression).

Der letzte Teil dieser Arbeit widmet sich Humanstudien, insbesondere den Einflüssen von GSM Bestrahlung auf den Schlaf. Hierzu wurde ein neuartiges Expositionssystem entwickelt und dosimetrisch

charakterisiert. Die Anlage induziert eine definierte unilaterale Feldverteilung im Kopf, die (1) alle Gehirnbereiche abdeckt, welche auch von Mobiltelefonen exponiert werden können, (2) nicht von Kopfbewegungen oder anatomischen Unterschieden der Versuchspersonen beeinflusst wird und (3) numerisch und experimentell ausführlich analysiert wurde (funktionalen Gehirnregionen wurden dosimetrisch unterschieden).

Die Experimente mit dem neuen Expositionsaufbau haben zu reproduzierbaren und bisher noch nicht bekannten Ergebnissen geführt: Es wurde gezeigt, dass GSM Bestrahlung spektrale Änderungen im Schlaf EEG verursacht, wobei der Effekt die Exposition überdauert und abhängig von der niederfrequenten Pulsmodulation ist. Weiterhin wurden erstmals Auswirkungen auf den cerebralen Blutfluss im Gehirn nachgewiesen.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchungen, wie auch der *in vitro* Studien wären Aussagen über gesundheitliche Risiken an dieser Stelle jedoch verfrüht. Die Resultate müssen zunächst unabhängig reproduziert werden und der Wechselwirkungsmechanismus muss geklärt sein, um die Relevanz der Ergebnisse beurteilen zu können.