

**Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im  
Tiermodell (Labornager)**

**Abschlussbericht**

**Auftragnehmer**

**Jacobs-University Bremen**

**Verantwortlicher Wissenschaftler**

**Prof. Dr. Alexander Lerchl**

**School of Engineering and Science**

**Campus Ring 6, 28759 Bremen**

## Zusammenfassung:

Durch dieses Projekt sollte geklärt werden, ob die in Projekt 4323 (Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR-Mäusen durch niederfrequente Magnetfelder (Teilprojekt 1) und Wirkung chronischer Exposition mit einem athermisch wirkenden GSM-Mobilfunksignal auf die Entwicklung spontaner lymphatischer Leukämie bei freibeweglichen weiblichen Mäusen des AKR/J-Stamms (Teilprojekt 2) festgestellte im Vergleich zur Kontrolle signifikante Gewichtszunahme GSM-exponierter Versuchstiere auf eine Beeinflussung des Metabolismus unterhalb der Schwelle für gesicherte thermische Effekte zurückzuführen ist. Dazu wurden männliche Dsungarische Zwerghamster (*Phodopus sungorus*) für jeweils eine Woche kontinuierlich exponiert bzw. scheinexponiert und der Verbrauch von Sauerstoff sowie die Produktion von Kohlendioxid registriert. Die Expositionsstärken waren 0 (scheinexponiert), 0,08, 0,4 und 4 W/kg (SAR). Einmal täglich erfolgte die berührungsfreie Messung der Fell- und Augentemperaturen durch IR-Thermografie. Hierdurch sollten die Effekte der Exposition auf die Abgabe der thermischen Energie bzw. auf die Körperkerntemperatur dokumentiert werden. Die Ergebnisse belegten zunächst die grundsätzliche Eignung des Versuchsdesigns und zeigen, dass weitergehende Versuche dieser Art durchführbar sind. Die Exposition führte ausschließlich bei dem höchsten SAR-Wert von 4 W/kg zu signifikanten Effekten. So konnten signifikant höhere Felltemperaturen (+ 0,5°C) nachgewiesen werden, die auf eine expositionsbedingte höhere Wärmeabgabe schließen lassen. Die Temperatur der Augen hingegen, als Surrogat der Körperkerntemperatur, veränderte sich hingegen nicht, was darauf hindeutet, dass die aufgenommene Strahlungsenergie effektiv über die Haut abgegeben wird und dass es nicht zu einer Erhöhung der Körperkerntemperatur kommt. Der Futtermittelverbrauch, nicht aber der Wasserverbrauch war bei 4 W/kg signifikant verringert. Bei der Analyse der Atemgase ergab sich ein Effekt auf die CO<sub>2</sub>-Produktion, die bei dem SAR-Wert von 4 W/kg verringert war, allerdings waren diese Unterschiede nur während des Tages signifikant. Ebenso war bei diesem SAR-Wert der respiratorische Quotient während des Tages leicht, aber signifikant vermindert. Insgesamt sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen in guter Übereinstimmung mit der Hypothese und lassen den Schluss zu, dass es bei hohen SAR-Werten zu metabolischen Effekten kommt, denen in weiteren Untersuchungen an anderen Tierarten nachgegangen werden sollte.

## Summary:

The aim of this project was to clarify if previously documented effects on body mass in GSM-exposed animals may be due to metabolic effects below thermal threshold. Male Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*) were continuously sham-exposed or exposed for one week to GSM-type electromagnetic fields at SAR levels of 0 (sham), 0.08, 0.4, or 4 W/kg, while carbon dioxide production and oxygen consumption were recorded in the exhaled air. Once per day temperatures of fur and eyes were recorded non-invasively by means of infrared thermography to assess heat loss through the skin and a surrogate for body core temperature, respectively. The results demonstrate first of all the suitability of the experimental design and show that follow-up studies are possible. Effects of exposure were seen only at the highest SAR level of 4 W/kg. Fur temperatures were found to be significantly elevated by approximately 0.5°C which indicates an exposure-related increase of heat loss through the skin. The temperatures of the eyes, however, were unaffected indicating that the absorbed energy could be compensated by increased heat loss through the skin without effects on core temperature. Only at 4 W/kg a significantly decreased food consumption was observed while the consumption of water was unchanged. Effects on carbon dioxide production were seen again only at highest exposure levels with significantly decreased levels during the day. Also the respiratory quotient was slightly, but significantly reduced during the day at 4 W/kg. In summary, the results of this study are in good agreement with the hypothesis and allow concluding that at high SAR levels metabolic processes may be affected which warrants further investigations in different animal species.

## **Ziel der Untersuchung:**

Abgeschlossene und publizierte Experimente (Sommer et al., 2004) haben gezeigt, dass Mäuse, die eine erhöhte spontane Lymphomrate haben und lebenslang hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks ausgesetzt waren, zwar keine erhöhte Krankheitsrate oder Mortalität aufwiesen, aber ein leicht höheres Körpergewicht als die scheinexponierten Tiere hatten. Die Expositionsstärke lag mit einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von 0,4 W/kg im nicht-thermischen Bereich, so dass Erhöhungen der Körpertemperatur für diesen Effekt vermutlich ausgeschlossen werden können. Auch Versuche an Dsungarischen Hamstern konnten Effekte auf das Körpergewicht nachweisen, allerdings bei noch geringeren SAR-Werten von 0,08 W/kg (Lerchl et al., 2008). Theoretisch besteht die Möglichkeit für indirekte, metabolische Effekte, wie sie auch Koyu et al. (2005) beschrieben haben. Der Ausgangspunkt für die Überlegungen, die dem hier beschriebenen Nachfolgeprojekt zugrunde lagen, ist der Energieerhaltungssatz und die Frage, ob die absorbierte Energie dazu führen kann, dass weniger Energie für den Stoffwechsel aufgewandt wird, was sich in veränderten Atemgasen ausdrücken müsste. Weiterhin wurde der Frage nachgegangen, ob die Thermoregulation der Versuchstiere den Energieeintrag kompensieren kann. Hierzu wurden in einem innovativen Ansatz nicht-invasiv die Temperaturen der Rückenfelles und der Augen (Cornea) durch Einsatz einer Thermografie-Kamera bestimmt. Die Temperatur des Rückenfelles war das Surrogat für die Hauttemperatur, während die Augentemperatur das Surrogat für die Körperkerntemperatur darstellte.

Als indirektes Maß für die metabolische Umsatzrate wurden daher die Atemgase und der respiratorische Quotient (RQ) von Hamstern, die sich in einem elektromagnetischen Feld (900 MHz, GSM) befinden, sowie die Fell- und Augentemperaturen bestimmt. Die spezifischen Absorptionsraten (SAR) betragen 0 (Schein-Exposition), 0.08, 0.4 und 4 W/kg. Die Untersuchungsergebnisse sollen dazu beitragen, die bestehende Unsicherheit über die Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern, wie sie von Mobiltelefonen erzeugt werden, auf den Stoffwechsel zu klären.

## Durchführung der Experimente:

Die Durchführung der Experimente gliederte sich in Phasen von jeweils einer Woche. Nach der Eingewöhnungswoche wurden die Tiere für jeweils eine Woche im Wechsel scheinexponiert bzw. exponiert, wobei die Expositionsstärke den durchführenden Personen nicht bekannt war. Insgesamt wurden 4 Durchläufe mit jeweils 4 Hamstern durchgeführt (jeweils 8 Wochen pro Durchlauf; s. Abb. 1).

1	Eingew.	Sham	SAR 1	Sham	SAR 2	Sham	SAR 3	Sham
2	Eingew.	Sham	SAR 1	Sham	SAR 2	Sham	SAR 3	Sham
3	Eingew.	Sham	SAR 1	Sham	SAR 2	Sham	SAR 3	Sham
4	Eingew.	Sham	SAR 1	Sham	SAR 2	Sham	SAR 3	Sham

Abb. 1: Schema der Versuchsdurchführung. Alle 4 Tiere eines Versuchsdurchlaufs wurden simultan den gleichen SAR-Werten ausgesetzt. Der Versuchsdurchlauf wurde 4-mal mit anderen Hamstern wiederholt.

### 1. Expositionsanlagen

Die Expositionsanlagen bestanden aus 4 rechteckigen Hohlleitungen, die vom Kooperationspartner (BU Wuppertal, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Prof. Dr.-Ing. Hansen) entwickelt und getestet wurden. Der Kooperationspartner führte auch die Berechnungen zur Dosimetrie durch. Einzelheiten sind dem Zwischenbericht (angefügt) und dem Abstract (P 102) im Anhang zu entnehmen. Die Feldstärken zur Erreichung der angegebenen SAR-Werte (0,08, 0,4 bzw. 4 W/kg) waren zunächst für 3 Tiere pro Käfig berechnet worden. Da dies jedoch nicht den tatsächlichen Gegebenheiten entsprach (siehe unten), wurden die Feldstärken in neuen Berechnungen entsprechend angepasst. Die Präsenz der elektromagnetischen Felder wurde über Feldsonden ständig aufgezeichnet. Vom PC, der diese Daten aufnahm, wurden die Daten wöchentlich abgerufen und per Email an die Wuppertaler Arbeitsgruppe geschickt, wo sie überprüft wurden. Die Versuchsdurchführung erfolgte blind, da die jeweilige Exposition kodiert vorgenommen wurde. Erst nach Auswertung und Übermittlung der biologischen Daten erfolgte die Bekanntgabe der Expositionsparameter.

## **2. Versuchstiere**

Adulte männliche Djungarische Zwerghamster (*Phodopus sungorus*) im Alter von 4 – 5 Monaten zu Versuchsbeginn aus eigener Zucht der Jacobs University wurden vor Beginn der ersten Exposition eine Woche zur Eingewöhnung in der Käfigen der Expositionsanlagen gehalten, um mögliche Effekte durch Wechsel des Käfigs zu vermeiden. Die Tiere bekamen Haltungsfutter mit definierter Zusammensetzung und Wasser *ad libitum*. Nach Ende der Versuchsreihe wurden die Versuchstiere in die Kolonie reintegriert.

Der geplante Besatz der Käfige mit 3 Tieren hat sich als nicht durchführbar herausgestellt, da von den Tieren zu viel Feuchtigkeit produziert wurde. Dadurch bildete sich in den abführenden Schläuchen Kondenswasser, durch das die Funktionsfähigkeit der Sensoren gefährdet war. Deshalb war die Reduktion auf ein Tier pro Käfig nötig. Diese ungeplante Änderung hatte jedoch auf die Durchführung keinen negativen Einfluss.

## **3. Bestimmung der Atemgase**

Zur Bestimmung der Atemgase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) wurden handelsübliche Sensoren verwendet. Für die Bestimmung von  $\text{CO}_2$  waren dies optische Sensoren (CO2 gascheck 3000 ppm, Edinburgh Instruments, Livingston, UK), für  $\text{O}_2$  kamen elektrochemische Sensoren zum Einsatz (M-03, Kranz GmbH, Gägelow), die eine Spannung abgeben, die der  $\text{O}_2$ -Konzentration proportional ist. Die letztgenannten Sensoren werden für den medizinischen Bereich benutzt, um Atemgaskonzentrationen einfach und genau zu bestimmen. Beide Sensoren haben sich für die hier durchgeführten Versuche hervorragend bewährt. Vorversuche mit anderen Sensortypen ergaben hingegen unzufriedenstellende Ergebnisse. Um die Atemgaskonzentrationen korrekt zu bestimmen, mussten weitere Parameter berücksichtigt werden. Zum einen war dies die Luftfeuchte, die durch Sensoren für jeden Käfig in der Abluft gemessen wurde (HU10, General Electric, Tauton, Somerst UK) und der Luftdruck, der durch einen pressure transducer kontinuierlich gemessen wurde (144SC0811-BARO, Sensortech, Puchheim). Zusammen mit einem Sensor für die Luftfeuchte der einströmenden Luft waren damit die Voraussetzungen gegeben, um

die tatsächlichen Gaskonzentrationen zu bestimmen. Um den Verbrauch von Sauerstoff bzw. die Produktion von Kohlendioxid zu bestimmen, mussten exakt arbeitende Pumpen installiert werden, die einen konstanten Luftstrom durch die Käfige garantierten. Nach Vorversuchen wurden hierzu Pumpen der Firma Telab, Moers, eingesetzt (Typ BF 408/40000), die weitgehend problemlos funktionierten.

Alle Messdaten wurden über eine hochauflösende AD-Karte (ADC-24, Pico Technologies, Meilhaus, Puchheim) an einen PC übermittelt, der die Daten alle 5 Minuten aufnahm. Die Korrekturen für Luftfeuchte und Luftdruck erfolgten automatisch durch entsprechende Rechenoperationen.

#### **4. Infrarot-Thermografie**

Die Messung der Temperaturen von den Versuchstieren erfolgte berührungsfrei durch Infrarot-Thermografie (Modell TI20, Fluke, Kassel) in standardisierter Weise: jeden Tag zur gleichen Uhrzeit (10 Uhr) wurde jeder Käfig geöffnet und ein Bild von oben angefertigt. Dabei wurde auch der Gesundheitszustand der Tiere kontrolliert. Die Messdaten für die Atemgase wurden für diese Zeitpunkte eliminiert. Die thermografische Methode hat sich als ausgesprochen wertvoll herausgestellt, da sich mit dieser Methode berührungs- und damit stressfrei Aussagen über die Thermoregulation machen lassen. Außerdem war von Vorteil, dass keine Kalibrierung erforderlich war, da die Kamera eine interne Kalibrierung durchführt. Die Reproduzierbarkeit und Empfindlichkeit (Temperaturunterschiede von 0,1°C konnten erkannt werden) waren für die Versuche ausreichend. Es wurden zwei Temperaturwerte für jedes Tier und jede Aufnahme ermittelt: die Temperatur der Rückenpartie als Surrogat für die Hauttemperatur und die Temperatur der Augen als Surrogat für die Kerntemperatur.

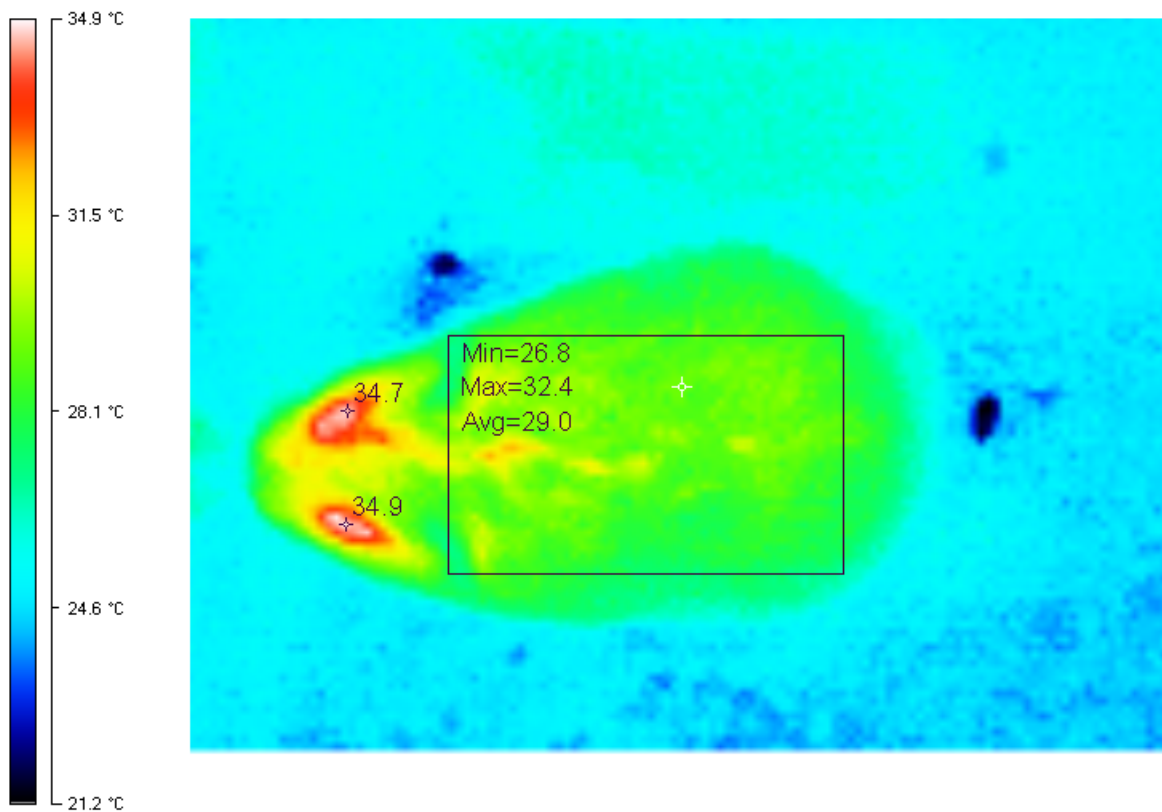


Abb. 2: Thermografie-Aufnahme eines Hamsters. Deutlich ist zu erkennen, dass die Augen (Cornea) die höchsten Temperaturen aufweisen (siehe auch Ergebnisse). Diese Messungen waren Punktmessungen (in der Abbildung mit „+“ markiert), während die Temperaturen der Rücken jeweils über die Fläche gemittelt erfasst wurde (in der Abbildung das Rechteck). Die Skala links zeigt den jeweils höchsten und niedrigsten Messwert und die Farbkodierungen.

## 5. Statistische Auswertungen

Die Werte der Atemgase für jedes Tier unter den 4 Expositionsbedingungen wurden gemittelt, um tageszeitliche Schwankungen und solche von Tag zu Tag möglichst zu eliminieren. Da die verwendeten Hamster nachtaktiv sind, erfolgte eine getrennte Betrachtung der Atemgasanalyse für die Werte der Nacht (8 Stunden) und des Tages (16 Stunden). Die statistische Analyse erfolgte nach etablierten Verfahren (ANOVA und Dunnett's Test). Alle Angaben in den Abbildungen sind Mittelwerte + SEM.



## Ergebnisse:

Die Ergebnisse hinsichtlich der Effekte auf die Körpertemperaturen belegen deutlich, dass die Felltemperatur der Hamster durch die Exposition beim höchsten SAR-Wert (4 W/kg) signifikant um etwa 0,5°C erhöht wird (Abb. 3). Dies ist auch an den Einzelergebnissen aller Tiere deutlich zu erkennen. Die Effekte auf die Augentemperaturen als Maß für die Körperkerntemperatur weisen in die gleiche Richtung, hier sind jedoch die Unterschiede nicht so markant und nicht signifikant (Abb. 4). Der Verbrauch von Wasser (Abb. 5) wurde von der Exposition nicht beeinflusst, ebenso wurden keine Effekte der Exposition auf das Körpergewicht festgestellt (Abb. 6). Allerdings zeigte sich ein signifikant geringerer Futtermittelverbrauch bei 4 W/kg (Abb. 7).

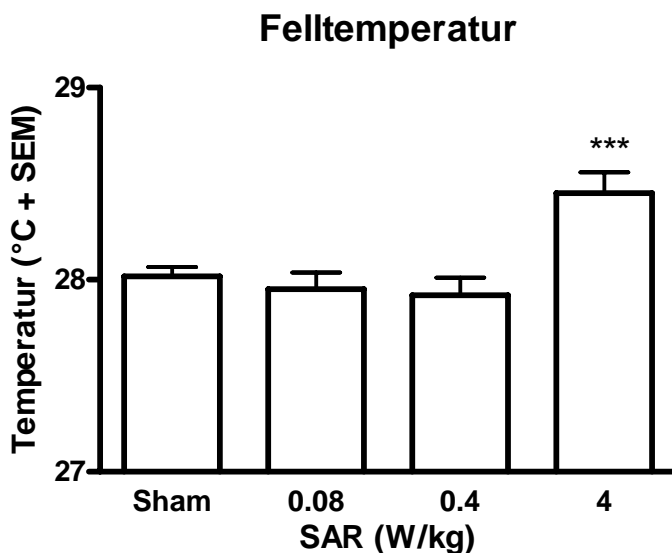


Abb. 3: Die Temperatur des Fells (Rückentemperatur) wird durch die Exposition bei SAR = 4 W/kg signifikant ( $p < 0.001$ ) erhöht.

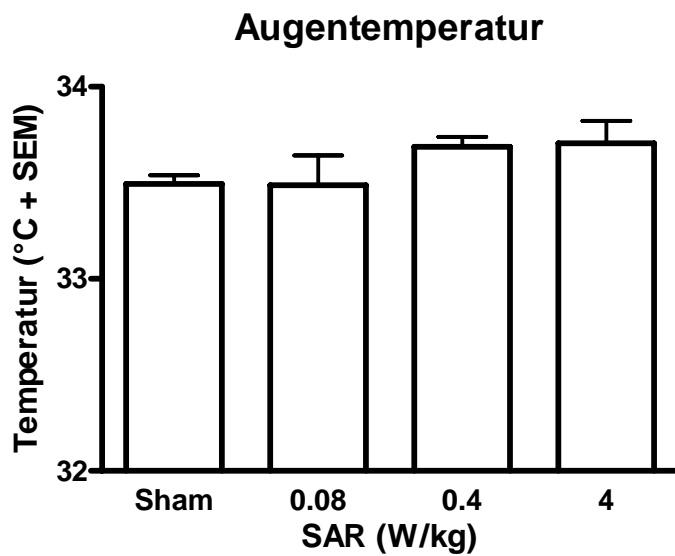


Abb. 4: Die Temperatur der Augen wird durch die Exposition nicht erhöht.

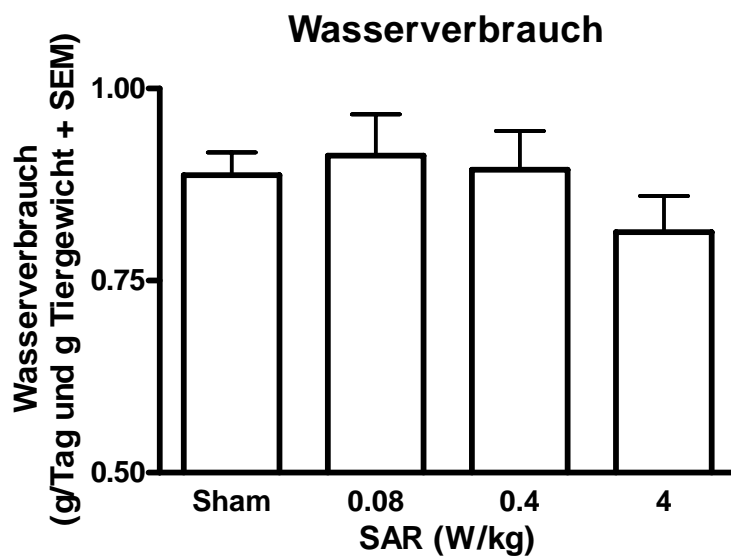


Abb. 5: Der Wasserverbrauch wurde durch die Exposition nicht beeinflusst.

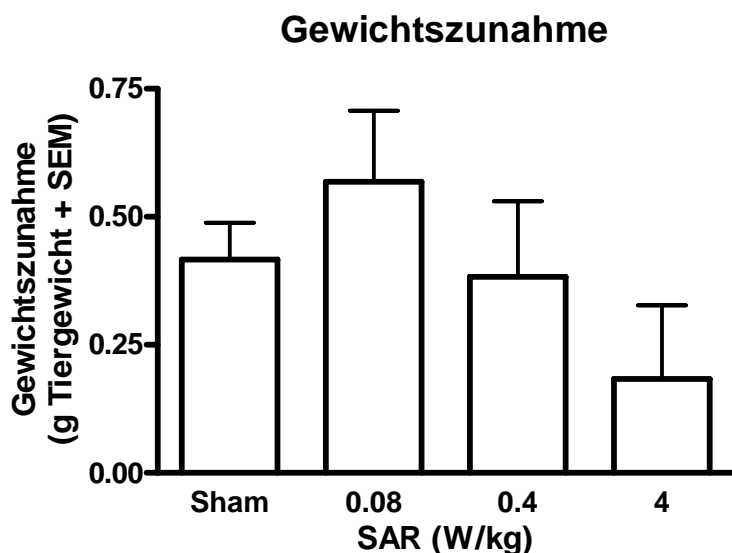


Abb. 6: Die Körpergewichtszunahmen waren gering und wurden durch die Exposition nicht beeinflusst. Dargestellt sind die Unterschiede zwischen den Körpergewichten zu Beginn und am Ende jeder Expositionsphase.

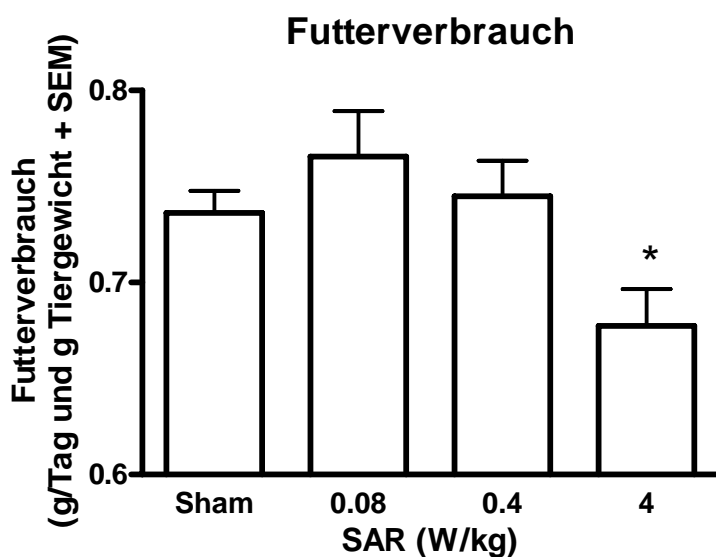


Abb. 7: Der Futtermverbrauch wurde bei dem höchsten SAR-Wert signifikant ( $p < 0.05$ ) reduziert.

Die Effekte auf die Produktion von  $\text{CO}_2$  bzw. den Verbrauch von  $\text{O}_2$  sind in den Abbildungen 8 und 9 dokumentiert. Während die Exposition keinen Effekt auf den  $\text{O}_2$ -Verbrauch hatte, war die  $\text{CO}_2$ -Produktion bei 4 W/kg reduziert, allerdings fand sich ein signifikanter Unterschied nur für die Tageswerte.

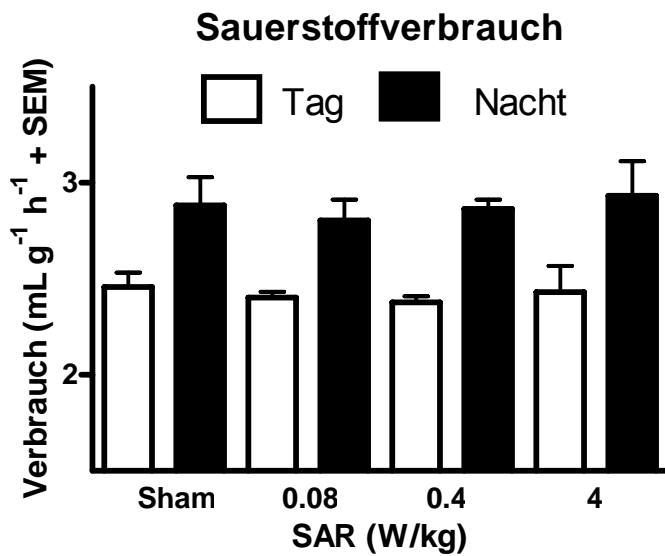


Abb. 8: Die Exposition hatte keinen Einfluss auf den Verbrauch von Sauerstoff.

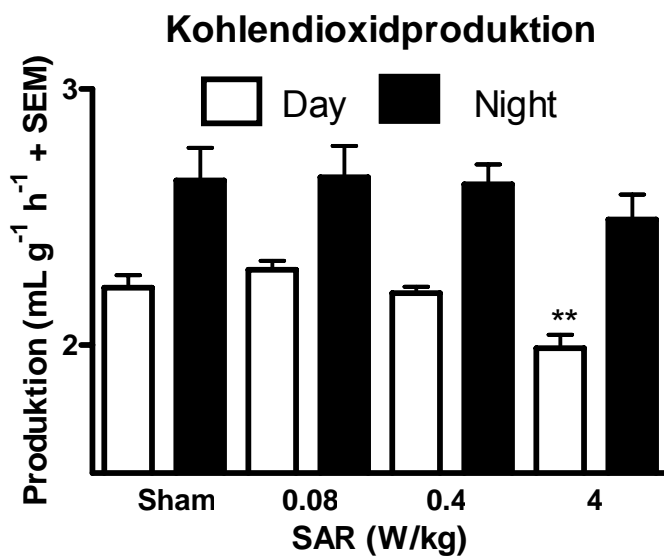


Abb. 9: Die Produktion von Kohlendioxid während des Tages wurde durch die Exposition bei einem SAR-Wert von 4 W/kg signifikant ( $p < 0.01$ ) verringert.

Die errechneten Werte für die respiratorischen Quotienten sind in Abb. 10 gezeigt. Die deutlichsten Abweichungen von den Werten unter Scheinexposition zeigten sich wiederum nur bei dem höchsten Expositionswert von 4 W/kg, und auch nur für die Tageswerte.

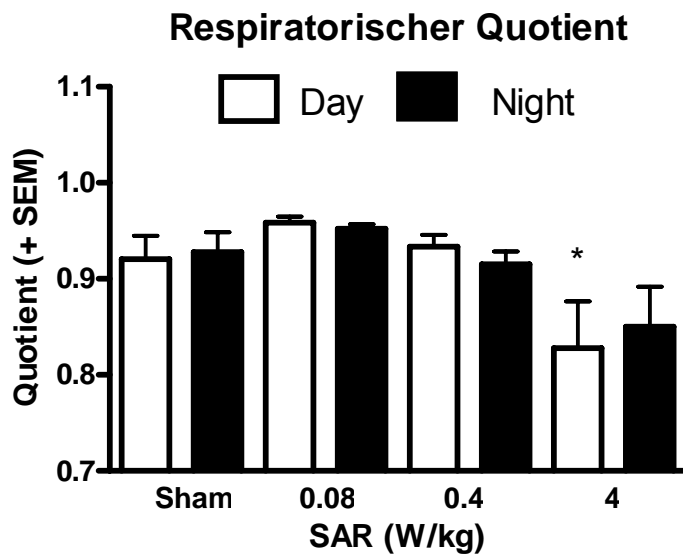


Abb. 10: Die respiratorischen Quotienten während des Tages wurden durch die Exposition bei einem SAR-Wert von 4 W/kg signifikant ( $p < 0.05$ ) verringert.

## Diskussion / Ausblick

Die Handhabung der Tiere während der Versuche war unproblematisch und der selbst entwickelte Messaufbau lief störungsfrei. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz des Besatzes mit nur einem Tier je Käfig die Varianzen der Parameter größtenteils sehr niedrig und damit signifikante Unterschiede statistisch gut absicherbar sind. Dies gilt auch für den Fall, dass keine Unterschiede beobachtet wurden, so dass statistische Fehler der ersten („falscher Alarm“) und zweiten Art („trügerische Sicherheit“) vermieden werden konnten. Daher wurde das erste Ziel, die Demonstration der Durchführbarkeit solcher Versuche („proof of principle“), erreicht.

Das eigentliche Ziel der Untersuchungen konnte ebenfalls erreicht werden, wenngleich nachfolgende Versuche den hier erhaltenen Befunden weiter nachgehen sollten. Die interessanten Ergebnisse bedeuten zunächst, dass unterhalb von 4 W/kg keine signifikanten Effekte beobachtet wurden. Bei 4 W/kg zeigten sich signifikante und deutliche Effekte auf die Felltemperatur und signifikante Effekte auf die Futteraufnahme sowie die Produktion von Kohlendioxid und den respiratorischen Quotienten, während sich die Augentemperaturen nicht änderten. Diese Ergebnisse bedeuten, dass

thermoregulatorische (Wärmeabgabe) bzw. metabolische (Reduktion der Verbrennung) Prozesse verhindern, dass sich die Körperkerntemperatur erhöht. Diese Interpretation setzt allerdings voraus, dass die gewählte Methode (Corneatemperatur als Surrogat für Körperkerntemperatur) valide ist. Girardin et al. (1999) haben bei Menschen Temperaturmessungen durchgeführt und festgestellt, dass in der Tat die Temperatur der Cornea mit der Körperkerntemperatur hochsignifikant korreliert. Für Nager liegen in der Literatur keine vergleichbaren Untersuchungen vor, jedoch spricht nichts dagegen, ähnliche Zusammenhänge anzunehmen.

Die bei 4 W/kg beobachtete geringere Futteraufnahme ist ebenfalls mit der Hypothese vereinbar, dass der Energieeintrag durch die Exposition dazu führt, dass weniger Energie durch Futter benötigt wird, um die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten.

Bei einer absorbierten Energie von 4 W/kg würde sich die Körpertemperatur des Menschen sich um etwa 1°C – 2,5°C erhöhen (Hirata et al., 2007a). Modellrechnungen an anatomischen Kopfmodellen des Menschen ergaben bei Frequenzen unter 3 GHz, dass sich die Temperatur der Augen bei diesem SAR-Wert um etwa 0,5°C erwärmen sollten (Hirata et al., 2007a). Ganz ähnliche Daten erhielten Flyckt et al. (2007). Die hier an Hamstern erhaltenen Ergebnisse weisen jedoch nur auf geringfügige und nicht signifikante Temperaturerhöhungen der Augen hin, die im Bereich von etwa 0,2 °C liegen. Zu einer deutlichen Erhöhung der Augen- bzw. Körperkerntemperatur kommt es also offensichtlich nicht. Vielmehr reichen die Kapazitäten der thermoregulatorischen und metabolischen Gegenregulierungen aus, um dies zu verhindern.

Diese Ergebnisse stimmen mit Beobachtungen von Ebert et al. (2005) hervorragend überein, die bei Mäusen, die elektromagnetischen Feldern bei 905 MHz ausgesetzt wurden, ab etwa 2 W/kg eine thermoregulatorische Antwort beobachteten, während ab etwa 7 – 10 W/kg ein „thermal breakdown“ beobachtet wurde, d.h. ab dieser Grenze wurden Temperaturerhöhungen registriert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen belegen, dass neben thermoregulatorischen Mechanismen auch metabolische Anpassungen als Folge der Exposition zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auftreten. Das Fehlen deutlicher Gewichtszunahmen der Versuchstiere, wie dies bei Mäusen und Hamstern beobachtet wurde, die lediglich 0,4 W/kg bzw. 0,08 W/kg ausgesetzt wurden (Sommer et al., 2004;

Lerchl et al., 2008) ist vermutlich auf die relativ kurze Expositionsdauer von 1 Woche zurückzuführen und daher nicht als Beleg für einen nicht existierenden Effekt zu werten. Inwieweit die hier dargestellten Befunde auf andere Tierarten oder gar den Menschen übertragbar sind, kann zurzeit nicht beantwortet werden, sollte aber Gegenstand weiterer Forschungsvorhaben sein.

#### **Literatur:**

Ebert S, Eom SJ, Schuderer J, Apostel U, Tillmann T, Dasenbrock C, Kuster N. Response, thermal regulatory threshold and thermal breakdown threshold of restrained RF-exposed mice at 905 MHz. *Phys Med Biol.* 50:5203 – 5215 (2005)

Flyckt VM, Raaymakers BW, Kroeze H, Legendijk JJ. Calculation of SAR and temperature rise in a high-resolution vascularized model of the human eye and orbit when exposed to a dipole antenna at 900, 1500 and 1800 MHz. *Phys Med Biol.* 52:2691 – 2701 (2007)

Girardin F, Orgül S, Erb C, Flammer J. Relationship between corneal temperature and finger temperature. : *Arch Ophthalmol.* 117:166 - 169 (1999)

Hirata A, Asano T, Fujiwara O. FDTD computation of temperature elevation in human body for RF far-field exposure. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007:1164 - 1167 (2007a)

Hirata A, Watanabe S, Fujiwara O, Kojima M, Sasaki K, Shiozawa T. Temperature elevation in the eye of anatomically based human head models for plane-wave exposures. *Phys Med Biol.* 52:6389-99 (2007b)

Koyu, A., Cesur, G., Ozguner, F., Akdogan, M., Mollaoglu, H. and S. Ozen. Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. *Toxicol Lett* 157, 257-262 (2005)

Sommer, A. M., Streckert, J., Bitz, A. K., Hansen, W. and A. Lerchl. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BMC Cancer* 4, 77 (2004)

Lerchl, A., Krüger, H., Niehaus, M., Streckert, J.R., Bitz, A. K. and V. Hansen. Frequency-dependent weight increases of Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*) exposed to mobile phone electromagnetic fields (383 MHz, 900 Mhz, 1800 MHz) at low SAR values (80 mW/kg). *J Pineal Res.* 44: 267-272 (2008)

**Anhang:**

1) Poster P5 (30. BEMS-meeting 8.-12.6.2008, San Diego, Kalifornien)

2) Poster P102 (30. BEMS-meeting 8.-12.6.2008, San Diego, Kalifornien)

(Beide Abstracts aus dem Abstract-Buch des Meetings)

3) Veröffentlichung: Exposure of hamsters to GSM900 signals carried by a quasi-TEM wave propagating in a rectangular waveguide. *Frequenz* 2008 (in press).



P-5 METABOLIC EFFECTS OF EXPOSURE OF DJUNGARIAN HAMSTERS  
TO GSM MODULATED ELECTROMAGNETIC FIELDS AT 900 MHZ

**Alexander Lerchl<sup>1</sup>, Kirstin Schwarzpaul<sup>1</sup>, Karen Grote<sup>1</sup>, Angela M. Sommer<sup>1</sup>,  
Abdessamad  
El Ouardi<sup>2</sup>, Joachim Streckert<sup>2</sup>, Andreas Bitz<sup>2</sup>, Volkert Hansen<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Jacobs University Bremen, Bremen, Germany. <sup>2</sup>University of Wuppertal, Wuppertal, Germany.

Summary of Abstract. The effects of electromagnetic fields (900 MHz, GSM modulation, up to 4 W/kg SAR) on metabolism are tested in hamsters.

Objectives. While the vast majority of animal studies performed so far did not indicate a health risk of exposure to non-ionizing radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) at non-thermal SAR values, some studies found effects on body weight or food consumption.

This is in accordance with the hypothesis (Lerchl et al., J. Pineal Res. 2008; doi: 10.1111/j.1600-079X.2007.00522.x) that the energy of RF-EMF does not necessarily increase the body temperature of homeothermic mammals whereas it may cause metabolic effects, such that less energy from food is needed for heat production. The present experiment is designed to address this possibility in detail.

Methods. Adult male Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*) from the colony at Jacobs University were put into specially designed, air-tight boxes inside rectangular exposure units (for details see poster by El Ouardi). At the beginning it was planned to place up to three hamster inside one unit, but due to condensation of water from exhaled air this number was found to be too high. Even with two hamsters, this problem persisted so that eventually one hamster was placed inside one box. This had the advantage that we were able to observe even very small individual changes of the parameters investigated. For one week, the animals (4 per each subset) were allowed to acclimatize, followed by alternating 7-day periods of sham exposure / exposure. While the order of sham exposure and exposure has been retained, the level of exposure during the exposure periods was either 0.08, 0.4 or 4 W/kg. The level was not known to the persons performing the experiment (blind design). Each subset lasts 8 weeks and is repeated 4 times with

different animals. The following parameters were recorded in the air being pumped out of the cages at constant flow: concentration of oxygen and carbon dioxide, temperature, and humidity. These parameters were also registered in the fresh, surrounding air, and thus the consumption / production / change for each parameter was recorded. The respiratory quotient (RQ) was calculated from the carbon dioxide and oxygen values. Every day at a fixed time, thermograph images from all animals were taken, and the temperatures of the back skin and the eyes were measured at a precision of 0.1 °C.

Results. At the time of preparation of this abstract, 2 of the 4 experimental subsets are completed, and the code of exposure has not been broken yet. So far, no changes of oxygen, carbon dioxide, or RQ were found. Compared to sham, significantly elevated temperatures were found during exposure (eyes:  $T$  approximately 0.5 °C;  $p < 0.01$ ; back skin:  $T$  approximately 0.8 °C;  $p < 0.001$ ). The parameters were found to be quite stable so that even 4 animals per experimental subset allowed sensitive measurements.

Conclusions. The data obtained so far are not in accordance with the experimental hypothesis, i.e. differences in production rates of carbon dioxide and consumption rates of oxygen were unchanged under exposure even at thermal SAR values. The thermograph images show, however, very nicely and without touching the animals that thermal effects can be observed under the experimental conditions. The final data will be presented at the BEMS meeting.

Acknowledgements. Supported by the German Office for Radiation Protection (BfS grant no. FM8840).

# P102: UNIFORM EXPOSURE OF NON-RESTRAINED RODENTS TO GSM900 SIGNALS FOR INVESTIGATING POSSIBLE EFFECTS ON THE METABOLIC RATE

***A. El Ouardi<sup>1</sup>, J. Streckert<sup>1</sup>, A. Lerchl<sup>2</sup>, K. Schwarzpaul<sup>2</sup>, V. Hansen<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> Chair of Electromagnetic Theory, University of Wuppertal, D-42097 Wuppertal, Germany

<sup>2</sup> School of Engineering and Science, Jacobs University Bremen gGmbH, D-28759 Bremen, Germany

## Introduction

Some published results might support the hypothesis that rf signals in the non-thermal range can influence the metabolic rate of rodents. Therefore, an experiment was set up within the framework of the "Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm" to confirm or disapprove this thesis. The poster presents the exposure set-up and the numerical dosimetry for this project.

## Objectives

Four plastic cages (dimensions (wxhxl) in mm: 147x117x355), each housing one hamster, are exposed to a GSM test signal at 900 MHz. In consecutive experiments whole body specific absorption rates (SAR) of 0 (sham), 0.08, 0.4, and 4 W/kg are applied. During the tests air of a defined speed (30 – 40 l/h) flows through the cage, while the temperature and the concentration of oxygen and carbon dioxide is measured.

## Method

In a rectangular waveguide with standard dimensions for the carrier frequency of 900 MHz only the fundamental H<sub>10</sub>-wave can propagate. However, it has a sinusoidal inhomogeneous transverse field. In order to flatten the field, two dielectric sheets of thickness  $d$ , distance  $D$  and height  $H$  are positioned symmetrically to the waveguide axis. The waveguide is of type WR1150 with internal dimensions  $W = 292.1$  mm and  $H = 146.05$  mm (fig. 1).

Material characteristics, thickness and position of the sheets are optimized to achieve a good field homogeneity between the sheets. In principal, by use of matters in waveguides, the next higher-order wave type is able to propagate in addition to the fundamental mode because the dielectric material reduces its cutoff frequency. To overcome this drawback in our case, the fundamental mode is excited selectively by using a transition from the empty metallic standard waveguide to the optimized structure with dielectric sheets.

## Results

From various optimization steps, the best dimensions of the sheets are found as  $D = 155$  mm;  $d = 30$  mm, and  $\epsilon_r = 2.9$ . A good field homogeneity of 5 % (including the standing wave contribution due to internal reflections) is reached in the cage region mainly by flattening the transverse field. For the standard waveguide (WR1150) without dielectric sheets this value reads 14 %. Figure 2 shows the transverse electrical field distribution for an input power of 1 W and for the best dimensions with the permittivity  $\epsilon_r$  as parameter. Field measurements and calculations of the total configuration including the rf feeds confirm that selective excitation is a good solution to maintain only the desired wave. SAR computations on the basis of a dielectric hamster model derived from MRI scans yield a fairly low input power of approx. 4 W per waveguide for the achievement of the maximum desired whole body SAR of 4 W/kg.

Figure 3 shows the entire exposure system installed at the Jacobs University Bremen. It consists of four rectangular waveguides each housing one cage, of a signal generator/modulator/amplifier-combination and of a 1:4-power splitter in order to distribute the output power to the four waveguides. 50  $\Omega$ -terminations are mounted to the output connectors of the waveguides. The computer is used to select the power level (and thereby the applied SAR) and to record a control signal from an rf detector-diode. This signal is permanently analysed with the view to check the functionality of the equipment.

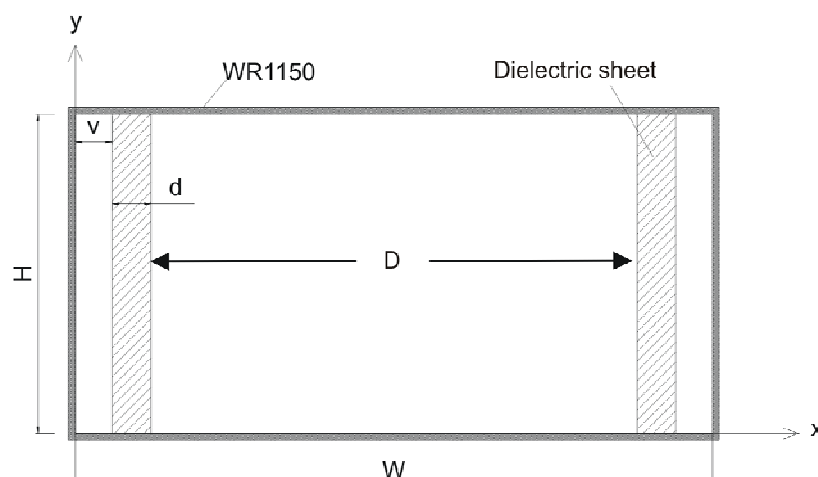


Figure 1. Cross section of waveguide WR1150 with inserted dielectric sheets.

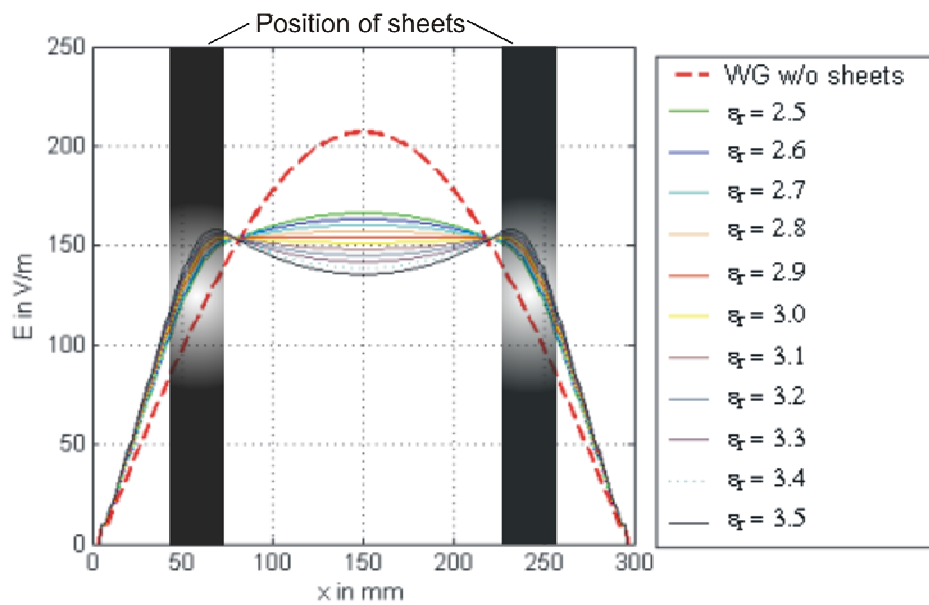


Figure 2. Field distribution in transverse direction for  $d = 30$  mm,  $v = 38.5$  mm, and variable permittivity  $\epsilon_r$  ( $P = 1$  W).

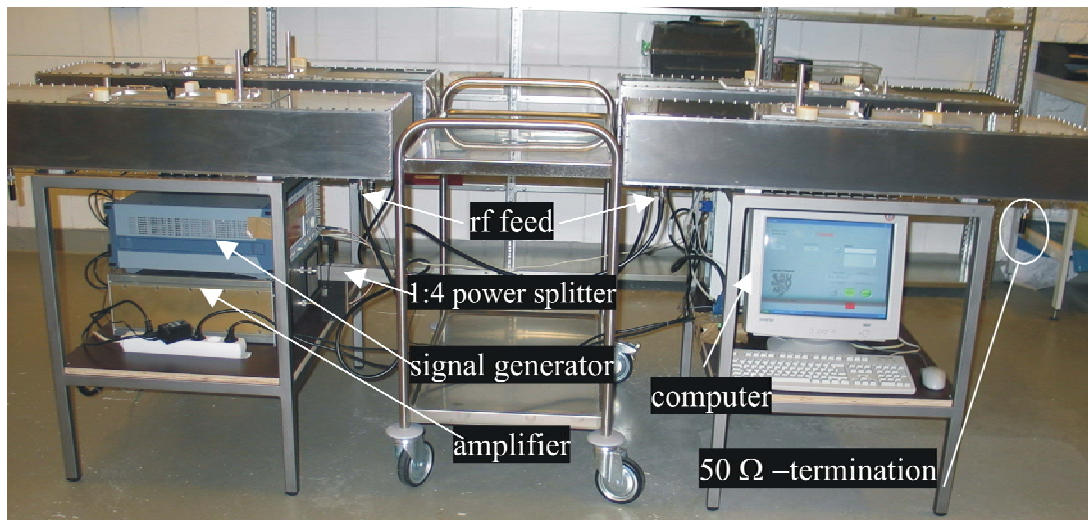


Figure 3. Photograph of the entire installed rf exposure set-up.

# Exposure of Hamsters to GSM900 Signals Carried by a Quasi-TEM Wave Propagating in a Rectangular Waveguide

A. El Ouardi, J. Streckert, A. Lerchl, K. Schwarzpaul, V. Hansen

**Abstract** – The development of exposure devices for investigating possible effects of mobile communication systems to nonrestrained animals aims at a homogeneous field distribution in the area the animals occupy. In the presented 900 MHz exposure device based on a modified rectangular waveguide (WR1150) a quite good field homogeneity of 5 % (including the standing wave contribution due to internal reflections) is achieved in the cage region mainly by flattening the transverse field. A good agreement exists between numerical and analytical results. The desired maximal whole-body specific absorption rate (SAR) of 4 W/kg in the Djungarian hamster model is reached at an input power of only 3.4 W.

**Index Terms** – RF exposure, GSM900, in vivo experiment

## 1. Introduction

Hundreds of experiments were performed in the last few years in order to investigate possible biological effects of radio frequency (rf) signals in the non-thermal range, i.e. with a maximum rf-induced temperature increase fairly below 1 °C. Some published results in the frequency region of mobile communication signals indicating body weight alterations (e.g. [1, 2]) might support the hypothesis that rf signals can influence the metabolic rate of rodents. Therefore, an experiment was set up by the Federal Office for Radiation Protection within the framework of the German Mobile Telecommunication Research Programme [3] to confirm or disapprove this thesis. This paper presents details of the engineering part and of the dosimetrical calculation of the project. Four plastic cages (dimensions (width x height x length) in mm: 147x117x355), each housing up to three hamsters for one week, are exposed to a GSM test signal at 900 MHz. Air of defined speed (30 - 40 l/h) flows through the cage. In the supplied air the temperature and the concentration of oxygen and carbon dioxide is measured. The analysis of the data gives information about the metabolism of the animals. Due to the rf field whole body SAR values of 4 W/kg, 0.4 W/kg, and 0.08 W/kg are applied and sham exposure phases (0 W/kg) are added. The choice of the SAR is done randomly, sequentially, and in a blinded manner.

## 2. Exposure Device

The field distribution in the volume of a cage should be homogeneous in order to obtain uniform exposure conditions for the animals regardless of their location. This can be achieved by inserting each cage into a rectangular waveguide (type WR1150: internal dimensions  $W = 292.1$  mm,  $H = 146.05$  mm) equipped with additional inner dielectric sheets (fig. 1).

In a rectangular waveguide with standard dimensions for the carrier frequency of 900 MHz only the fundamental  $H_{10}$ -wave can propagate. However, it has a sinusoidal transverse field. In order to flatten the field, two dielectric sheets of thickness  $d$ , distance  $D$  and height  $H$  are positioned symmetrically to the waveguide axis.

### 2.1. Analytical Calculations

To determine the field distribution within the waveguide the wave equation for the E-field is solved. The wave is propagating in +z-direction, i.e.  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  are proportional to  $e^{-jk_z z}$ , with  $k_z$  being the wave propagation constant. A transversal electric (TE- or H-) wave is considered.

It is postulated that  $E_x = 0$ . The field distribution in the transverse direction is of great importance for our investigations, because it is desired that a quasi-TEM wave can propagate in the waveguide. The entire cross section can be separated into five sections (I, II, III, IV and V (cf. fig. 1)). Due to the symmetry with respect to  $x = W/2$  ( $E_y^{(V)} = E_y^{(I)}$  and  $E_y^{(IV)} = E_y^{(III)}$ ) the following condition is considered

$$\left. \frac{\partial E_y^{(III)}(x)}{\partial x} \right|_{x=W/2} = 0 \quad (1)$$

The electric field strength can be given as follows

$$E_y^{(I)}(x) = E_0 \sin(k_{x,I}x) \quad (2)$$

$$E_y^{(II)}(x) = E_0 [C_1 \sin(k_{x,II}x) + C_2 \cos(k_{x,II}x)] \quad (3)$$

and

$$E_y^{(III)}(x) = E_0 [C_3 \sin(k_{x,I}x) + C_4 \cos(k_{x,I}x)]. \quad (4)$$

$E_0$  depends on the input power and the constants  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  and  $C_4$  are depending on  $k_{x,I}$ ,  $k_{x,II}$  and on the dimensions  $v$  and  $d$ , whereas  $k_{x,II}$  depends on  $k_{x,I}$ .

Considering the boundary condition (eqn. 1) leads to the characteristic equation

$$C_4^{-1} - \tan\left(k_{x,I} \frac{W}{2}\right) = 0, \quad (5)$$

for the determination of the wave number  $k_{x,I}$ . This equation can be solved graphically or numerically.

Figure 2 shows an example for the graphical solution of  $k_{x,I}$ . The intersections between both curves ( $1/C_4$  and  $\tan(k_{x,I}W/2)$ ) give the solutions of eqn. (5). The interesting solution concerns the first branch of the tan-function, because this corresponds to the first propagating wave (equivalent  $H_{10}$  in a rectangular waveguide). If no solution exists for the first branch (e.g. for  $\epsilon_r = 6$  (fig. 2)) the value of  $k_{x,I}$  is imaginary, i.e. the field is damped in x-direction.

## 2.2. Numerical Calculations

Due to the width of the cage and of its cover, the distance  $D$  must not be smaller than 155 mm. Material characteristics, thickness and position of the sheets are modified to achieve a good field homogeneity between those walls. For optimizing the dielectric sheets different points are discussed. First, with the permittivity  $\epsilon_r = 5$  and with the distance  $v = 0$  mm (i.e. the dielectric sheets are in contact with the interior side of the metal walls of the waveguide) the thickness  $d$  is varied in order to find the optimum thickness for a homogeneous field distribution in the area between both dielectric sheets. The calculation of the field distribution is performed with help of the software package MICROWAVE STUDIO™ [4]. This software has a graphical user interface based on Windows and the calculation uses the FI method (Finite Integration technique [5]). For an increasing thickness  $d$  the electric field distribution of the fundamental mode carrying a constant power  $P$  becomes more and more homogeneous in transverse direction reaching a rather constant field for  $d = 40$  mm (fig. 3), but for  $d > 20$  mm also higher-order waves become propagable.

Another possibility is to keep the thickness  $d$  constant and to increase the distance  $v$  ( $v > 0$ ). In fig. 4 the field distribution in transversal direction is plotted for different distances  $v$ , for  $d = 1'' = 25.4$  mm and for the permittivity  $\epsilon_r = 5$  as before. This solution seems better than the first, because the field is quite homogeneous at  $v = 18$  mm with less material usage. The next point concerns the reduction of the dielectric constant of the sheets with the aim to replace the specific high permittivity material by standard plastics available on the market at moderate costs. For this investigation different fixed data for the thickness  $d$  and for the position  $v$  of the dielectric sheets are chosen, while  $\epsilon_r$  is varied. From the transverse electrical field distribution shown in fig. 5 for  $P = 1$  W,  $d = 30$  mm, and  $v = 38.5$  mm the permittivity  $\epsilon_r = 2.9$  is found to be the best solution for a homogeneous field distribution. With these parameters a quasi TEM waveguide can be designed. For the final optimized parameters  $\epsilon_r$ ,  $v$  and  $d$  a comparison between numerical and analytical solution for the electrical field distribution in transverse direction of the empty waveguide is shown in figure 6. The agreement is very good.

## 3. Selective Wave Excitation

In principal, by use of matters in waveguides the propagation of higher-order wave types can be provoked, because the dielectric material reduces their cut-off frequencies. This is also the case in the structure shown in fig. 1. To overcome this drawback, the fundamental mode is excited selectively by using a transition from the empty metallic standard waveguide to the optimized structure with dielectric sheets. For the optimization given above, the first-order higher mode ( $H_{20}$ ) is able to propagate in addition to the fundamental mode, but only the propagation of the fundamental mode is desired. This can be achieved by using a section of standard waveguide with an integrated coaxial-to-waveguide adapter in front of the waveguide section with the dielectric sheets (fig. 7). From cross-sectional cuts of the calculated field distribution, like the two plotted in fig. 7, it turns out that

1. in a distance of 160 mm from the exciting cylindrical antenna, which dimensions are given in fig. 8, the standard waveguide propagates solely the  $H_{10}$ -mode (with the sinusoidal transverse field) yielding a good excitation efficiency for the fundamental mode at the transition to the waveguide section with dielectric sheets, while the overlap integral [6] between  $H_{10}$ - and  $H_{20}$ -mode gives zero, and
2. above a distance of 72.5 mm from the beginning of the dielectric sheets a very good homogeneity of the field between both sheets (area of the cage) is obtained.

The waveguide is designed symmetrically, i.e. a second coaxial-to-waveguide adapter is placed behind the section with the dielectric sheets.

## 4. Dosimetry

To derive the field- and the SAR-distribution for the waveguide filled with animals it is necessary to use numerical computations. A FDTD (Finite Difference Time Domain) in-house code [7] was applied involving a dielectric computer model of a hamster developed from ten MRI cut views (cf. fig 9). 21 tissues have been considered. Results of the FDTD field- and SAR-computations are shown here for the case of one hamster in a cage. We mentioned in the Introduction that the cages were dimensioned for the housing of up to three hamsters and we recently presented results for the respective dosimetrical analysis in [8 - 11]. However, during the pilot tests it turned out that the humidity produced by three animals was too high as to achieve reliable biological results. Therefore, the final experiments, which biological outcomes [12] will be published in detail elsewhere, were performed with one hamster per cage and the related dosimetry is given here. Fig. 10 shows cut-views of the computer model for the exposure region containing one hamster with different positions and orientations. For the model in the center of fig. 10 the field- and SAR-distributions yielding from FDTD computations are given exemplarily in fig. 11. It is obvious that only local field perturbations are caused by the animals.

From the calculated electrical field the SAR value in any voxel ( $\Delta V = 1\text{mm}^3$ ) and from this the SAR-distribution can be calculated as follows:

$$SAR = \frac{1}{2\Delta V} \iiint_{\Delta V} \frac{\kappa(\vec{r})}{\rho(\vec{r})} |\vec{E}(\vec{r})|^2 dV \quad (6)$$

$\kappa(\vec{r})$  is the conductivity and  $\rho(\vec{r})$  is the density of the tissue at the position  $\vec{r}$ . The whole body SAR value ( $SAR_{wb}$ ) is equal to the total dissipated power inside the animal related to its mass:

$$SAR_{wb} = \frac{P_V}{m} \quad (7)$$

As fig. 11 confirms, the SAR is zero outside of electrically conducting tissue according to eqn. (6).

The full analysis of the computations yields a standard deviation of the whole body SAR of 43% and a necessary input power of 3.36 W to achieve a sufficient field strength for the desired highest SAR value.

## 5. Performance of the Exposure Set-up

Figure 12a shows a photograph of the built-up rectangular waveguide. The total length is 1.1 m, the width 30 cm and the height about 18 cm. The top plate is closed by a hinged lid with a fine metal grid for reasons of lighting and simultaneous electromagnetic shielding. The pipe on the left is used for inserting the nipple of the water bottle, the second pipe on the right is needed as a feed-through for the flexible tube of the air supply. These pipes are dimensioned as circular waveguides beyond- cutoff, thus being open or shut from an mechanical or respectively an electromagnetical point of view. Figure 12b shows the waveguide with the lid opened. The dielectric sheets and one of the plastic inserts for positioning the cage at a defined position are visible. Using a simulation model of the waveguide including the coaxial-to-waveguide adapters, the dielectric sheets, and a 50  $\Omega$ -termination at the output port, a total reflection coefficient of approx. -20 dB was calculated at the input port. This value is confirmed by S-parameter measurements with the help of a network analyzer (Fig. 13). The reflection coefficient is also measured in presence of animal phantoms (balloons filled with water, Fig. 14) which enhanced to -17.5 dB. Moreover, measurements of the field within the waveguide were performed with the help of a monopole probe inserted through bores in an adapter plate covering the opening in the top side of the waveguide. Figure 15 shows the comparison between the measured and calculated transverse field distribution for an input power of 1 W. Since the permittivity measurement of the actual dielectric sheets yielded a value of 2.5, deviating from the optimum value of 2.9, the former was used for the field computations. The agreement of measured and calculated fields within 9% is rather satisfying, particularly since an uncertainty of the permittivity measurement of 5% must be considered. Figure 16 shows the entire exposure system installed at the Jacobs University Bremen. It consists of four rectangular waveguides each housing one cage, of a signal generator/modulator/amplifier combination and of a 1:4-power splitter in order to distribute the output power to the four waveguides. 50  $\Omega$ -terminations are mounted to the output connectors of the waveguides. The computer is used to select the power level (and thereby the applied SAR) and to record a control signal from a rf detector-diode. This signal is permanently analysed with the view to check the functionality of the equipment.

For the achievement of the maximum whole body SAR of 4 W/kg the amplifier has to provide a total average power of 14.2 W to feed the four waveguides. Comparing this value with the implemented four waveguides' total input power of  $4 \times 3.36 \text{ W} = 13.4 \text{ W}$  indicates that only 0.8 W are lost by absorption and reflection in the splitter, the cables and the connectors. The uniformness of input powers amongst the four waveguides is within 6%.



## 6. Conclusion

A 900 MHz exposure set-up for the investigation of the metabolic rate of rodents was developed at the University of Wuppertal and installed at the Jacobs University Bremen. The set-up consists of four rectangular waveguides designed for quasi TEM operation with a nearly homogeneous transverse field distribution due to specially dimensioned dielectrical sheets. The input powers needed for generating the demanded SAR values within the animals were found by means of computer simulations involving a model of the entire waveguide with one cage housing a hamster in different positions and postures. The modulation signal was chosen according to the generic GSM signal defined in [13].

Fig. 1:	Cross section of waveguide WR1150 with inserted dielectric sheets.
Fig. 2:	Graphical solution of eqn. (5) ( $d = 25.4$ mm, $v = 18$ mm and $f = 900$ MHz).
Fig. 3:	Field distribution in transverse direction for $v = 0$ , $\epsilon_r = 5$ , and different sheet widths $d$ ( $P = 1$ W).
Fig. 4: 1 W).	Field distribution in transverse direction for $d = 25.4$ mm, $\epsilon_r = 5$ , and different distances $v$ ( $P =$
Fig. 5:	Field distribution in transverse direction for $d = 30$ mm, $v = 38.5$ mm, and variable permittivity $\epsilon_r$ ( $P = 1$ W).
Fig. 6:	Comparison between the analytical and numerical solution of the transverse electrical field for $d = 30$ mm, $v = 38.5$ mm, and $\epsilon_r = 2.9$ .
Fig. 7:	Field distribution in two cross-sections of the total configuration.
Fig. 8:	Longitudinal cut through the coaxial-to-waveguide adapter for excitation of the fundamental mode, optimized for 900 MHz.
Fig. 9:	MRI section diagram of a Djungarian hamster for the development of the computer model.
Fig. 10:	Computer models of a waveguide section with cage and one hamster in 9 different positions and/or orientations; view from top.
Fig. 11:	Electrical field (a) and SAR (b) distributions for the configuration in the center of fig. 10 at an input power of 1W.
Fig. 12:	Built-up rectangular waveguide (a) with dielectric sheets (b).
Fig. 13:	S-Parameter measured with help of a network analyzer.
Fig. 14:	Three water balloons as phantoms for the hamsters.
Fig. 15:	Comparison of measured and calculated transverse field distribution between the dielectric sheets for $d = 30$ mm, $v = 38.5$ mm, and $\epsilon_r = 2.5$ ( $P_{in} = 1$ W).
Fig. 16:	Photograph of the entire installed rf exposure set-up.

## 6. References

- [1] A. Lerchl, H. Kruger, M. Niehaus, J. R. Streckert, A. K. Bitz, V. Hansen: Effects of mobile phone electromagnetic fields at nonthermal SAR values on melatonin and body weight of Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*). *J Pineal Res*, vol. 44, pp. 267-272, 2008.
- [2] Lerchl, A.: Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR-Mäusen durch niederfrequente Magnetfelder (Teilprojekt 1) und Wirkung chronischer Exposition mit einem athermisch wirkenden GSM-Mobilfunksignal auf die Entwicklung spontaner lymphatischer Leukämie bei freibeweglichen weiblichen Mäusen des AKR/J-Stamms (Teilprojekt 2). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen

Mobilfunk Forschungsprogramms, September 2004.  
[http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie\\_abges/bio\\_040.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_040.html)

- [3] BfS: German Mobile Telecommunication Research Programme. <http://www.emf-forschungsprogramm.de>.
- [4] CST GmbH: MICROWAVE STUDIO™ Version 2006B, Darmstadt, 2006.
- [5] Weiland, T.: Maxwell's grid equations. *Frequenz*, 44, pp. 9-16, 1990.
- [6] Neumann, E.-G.: *Single-Mode Fibers – Fundamentals*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1988.
- [7] Bitz, A.: *Numerische Feldberechnung im biologischen Gewebe: Exposition von Personen, Tieren und isolierten biologischen Systemen in elektromagnetischen Feldern*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2004.
- [8] A. El Ouardi, J. Streckert, V. Hansen, A. Lerchl, K. Schwarzpaul: Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate von Hamstern. Kleinheubacher Tagung, Miltenberg, KH 2007-K-058, September 2007.
- [9] A. El Ouardi, J. Streckert, A. Lerchl, K. Schwarzpaul, V. Hansen: Exposure of hamsters to GSM900 signals carried by a quasi-TEM wave propagating in a rectangular waveguide, GeMic 2008, Hamburg, pp. 331-335, 2008.
- [10] A. El Ouardi, J. Streckert, A. Lerchl, K. Schwarzpaul, V. Hansen: Influence of GSM900 electromagnetic fields on the metabolic rate in rodents, *Adv. Radio Sci.*, 6, 319–323, 2008.
- [11] A. El Ouardi, J. Streckert, A. Lerchl, K. Schwarzpaul, V. Hansen: Uniform exposure of non-restrained rodents to GSM900 signals for investigating possible effect on the metabolic rate. 30th BEMS Annual Meeting, San Diego, USA, June 2008.
- [12] A. Lerchl, K. Schwarzpaul, K. Grote, A. Sommer, A. El Ouardi, J. Streckert, A. Bitz, V. Hansen: Metabolic effects of exposure of Djungarian hamsters to GSM modulated electromagnetic fields at 900 MHz. 30th BEMS Annual Meeting, San Diego, USA, June 2008.
- [13] Schüller, M., Streckert, J., Bitz, A., Menzel, K., Eicher, B.: Proposal for generic GSM test signal. Proc. 22st BEMS Annual Meeting, Munich, Germany, pp. 122-123, 2000.

First, second and last author  
Abdessamad El Ouardi, Joachim Streckert, Volkert Hansen  
Chair of Electromagnetic Theory  
University of Wuppertal  
D-42097 Wuppertal, Germany  
E-mail: [hansen@uni-wuppertal.de](mailto:hansen@uni-wuppertal.de)

Other authors  
Alexander Lerchl, Kirstin Schwarzpaul  
School of Engineering and Science  
Jacobs University Bremen gGmbH  
D-28759 Bremen, Germany  
Email: [a.lerchl@jacobs-university.de](mailto:a.lerchl@jacobs-university.de)

\* Financial support by the German Federal Office for Radiation Protection and by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety is gratefully acknowledged.

Fig. 1:

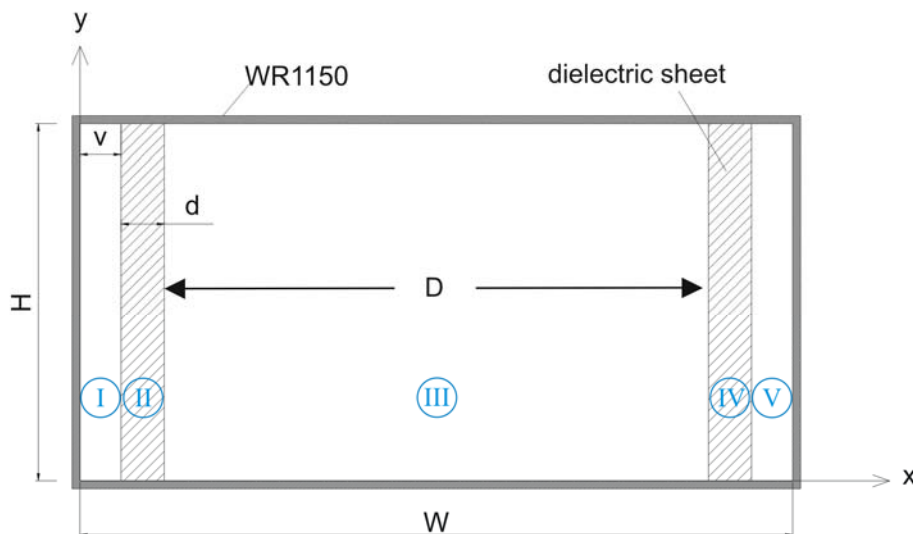


Fig. 2:

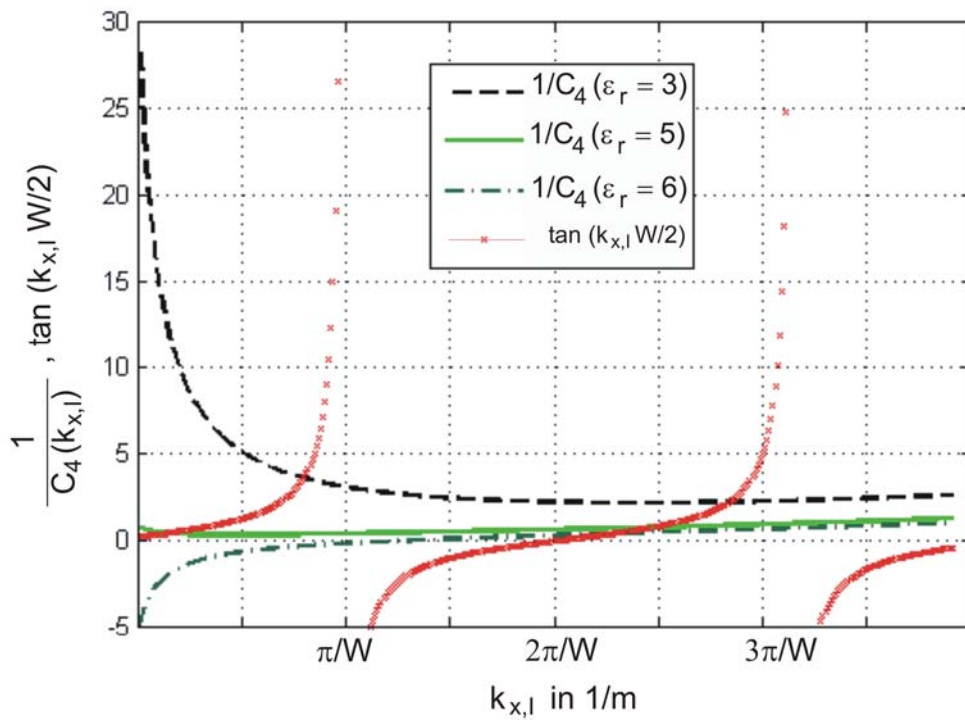


Fig. 3:

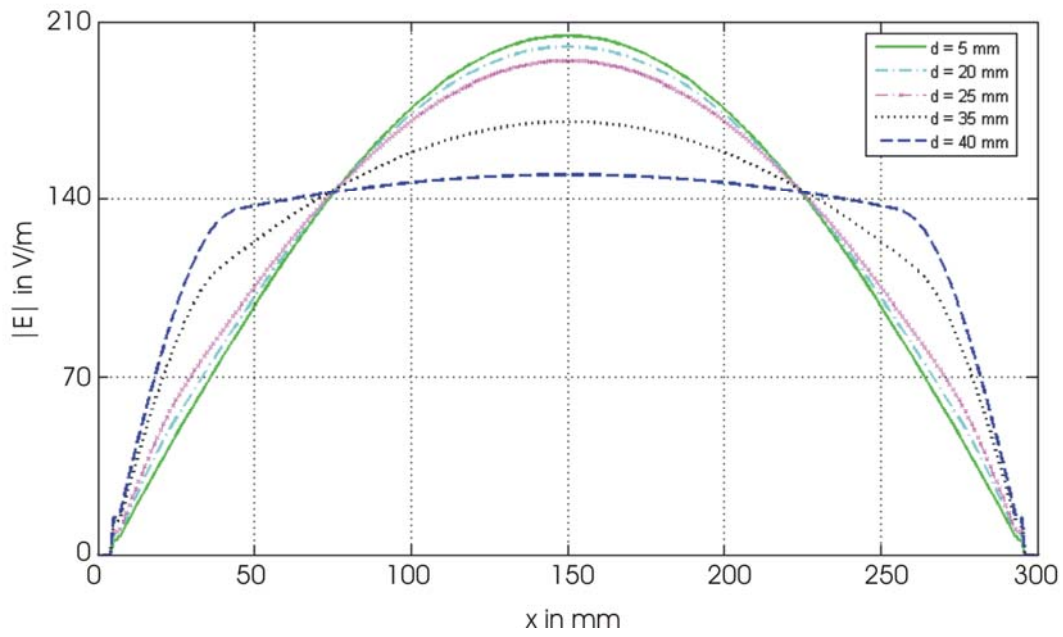


Fig. 4:

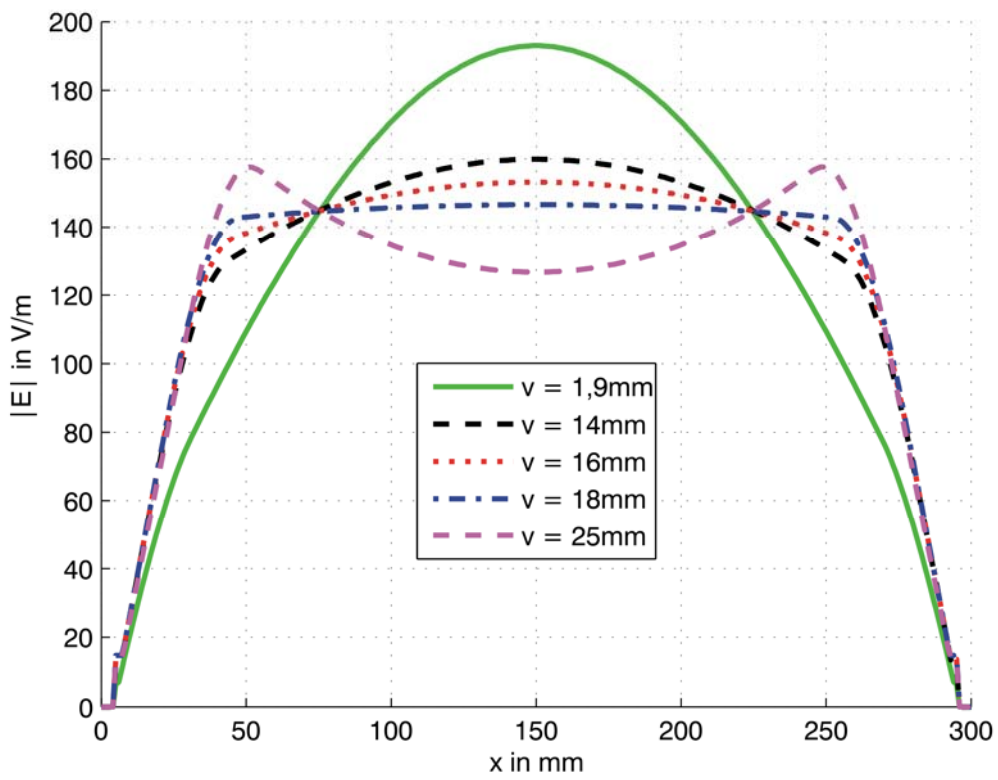


Fig. 5:

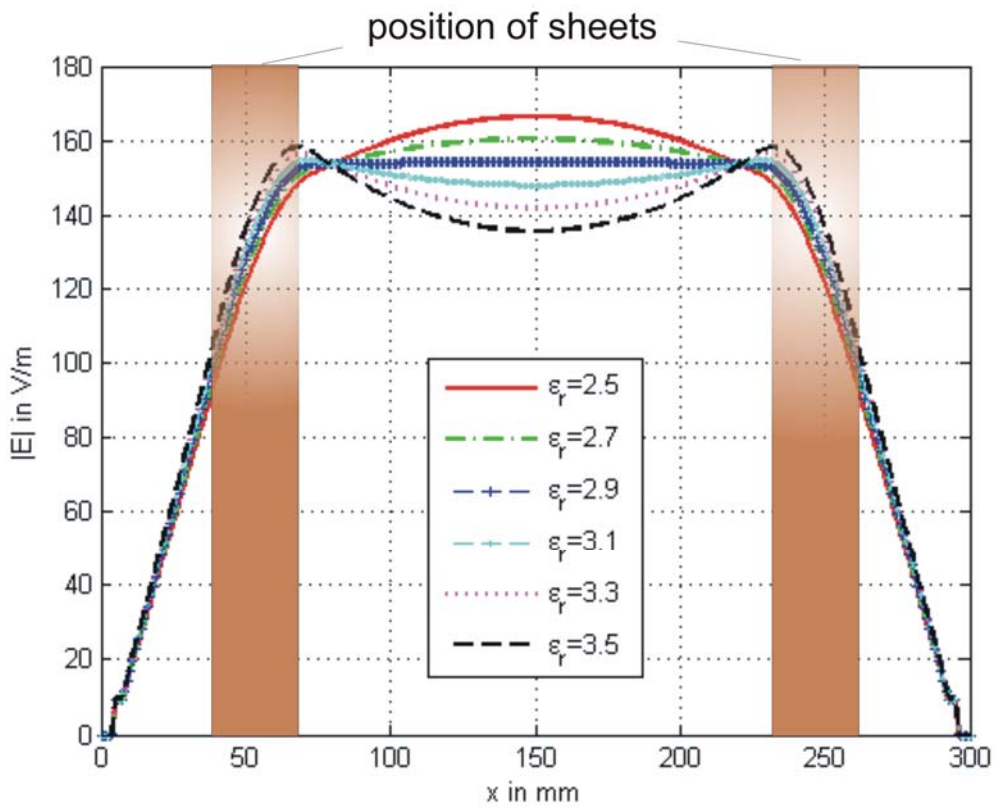


Fig. 6:

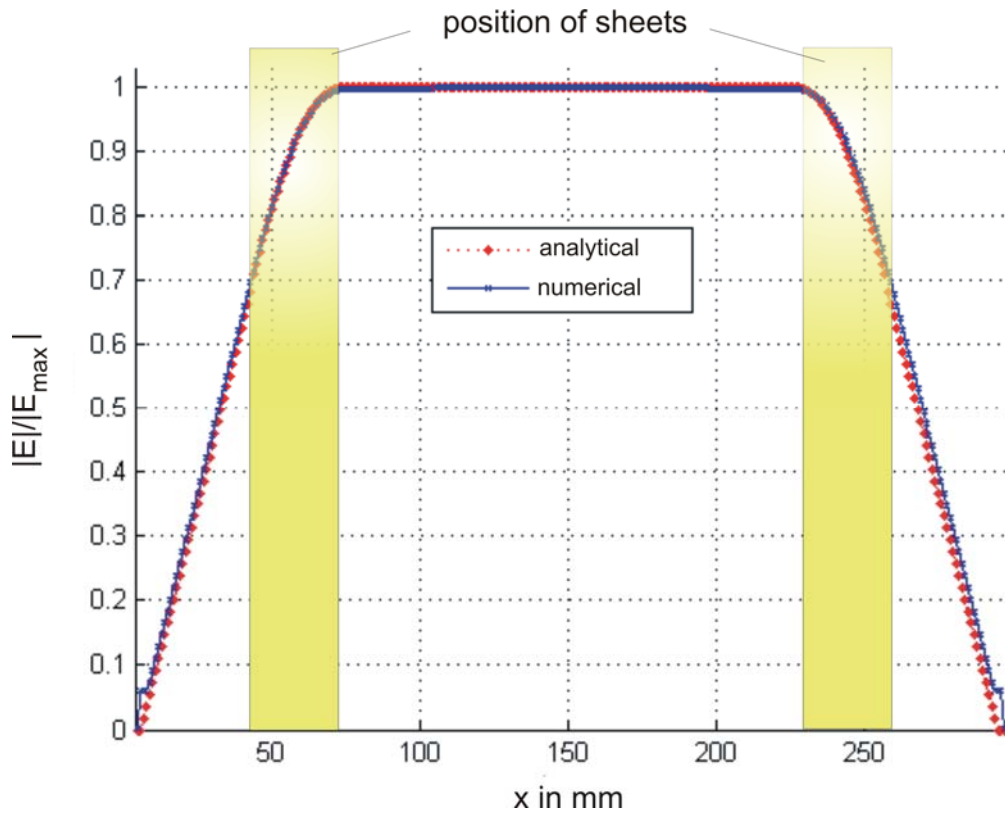


Fig. 7:

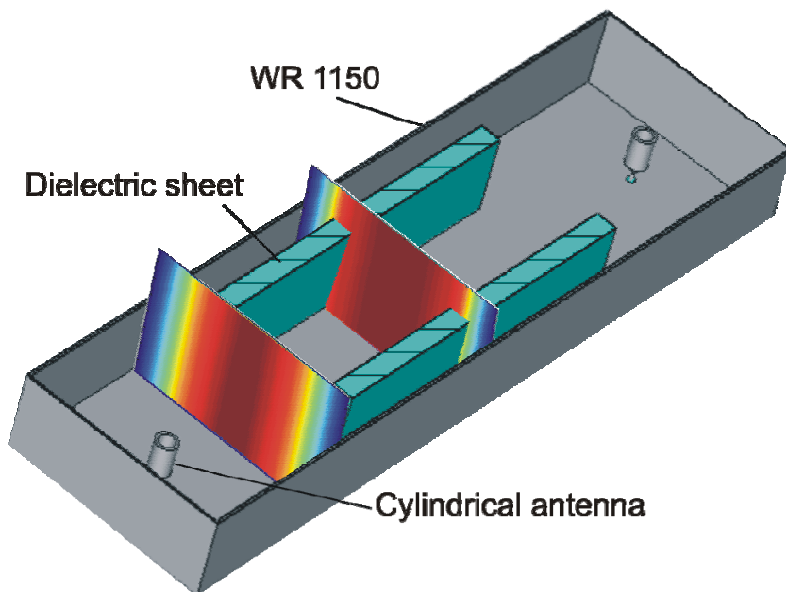


Fig. 8:

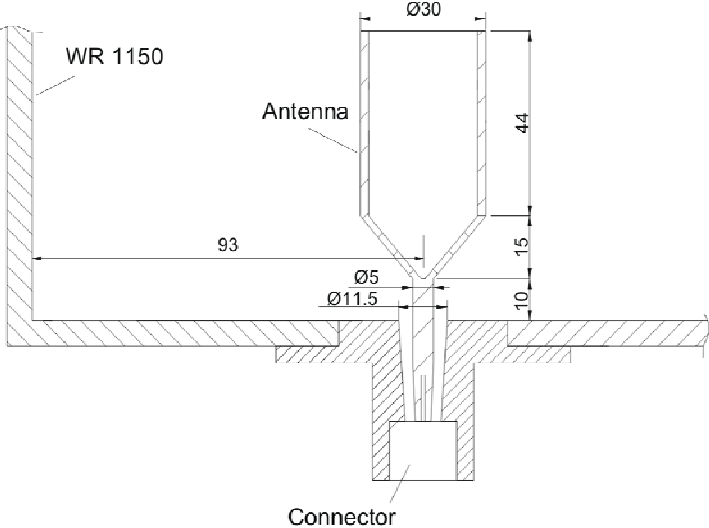


Fig. 9:

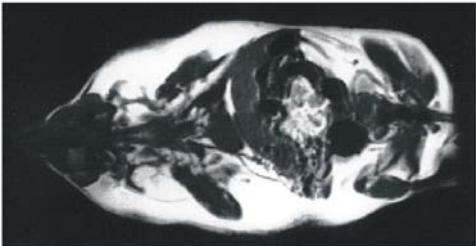


Fig. 10:

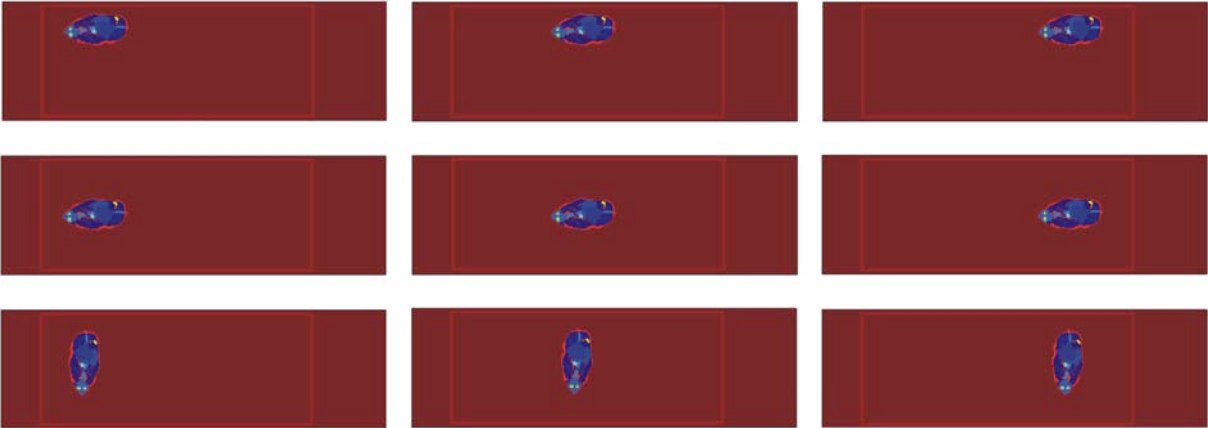
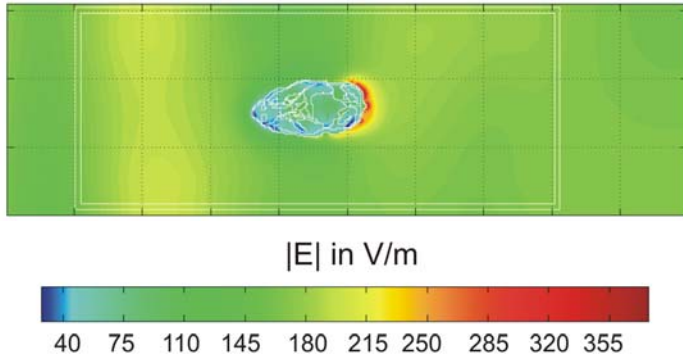
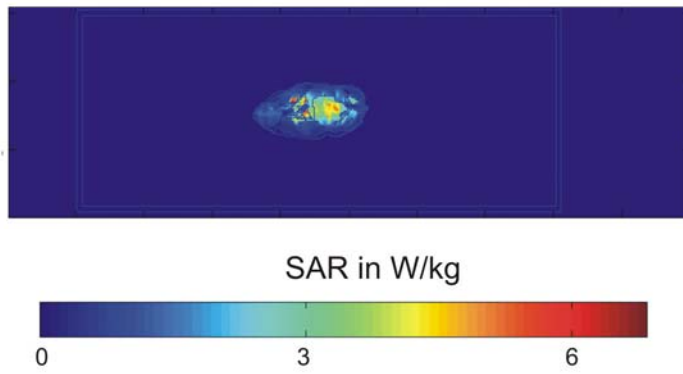


Fig. 11:



(a)



(b)

Fig. 12:

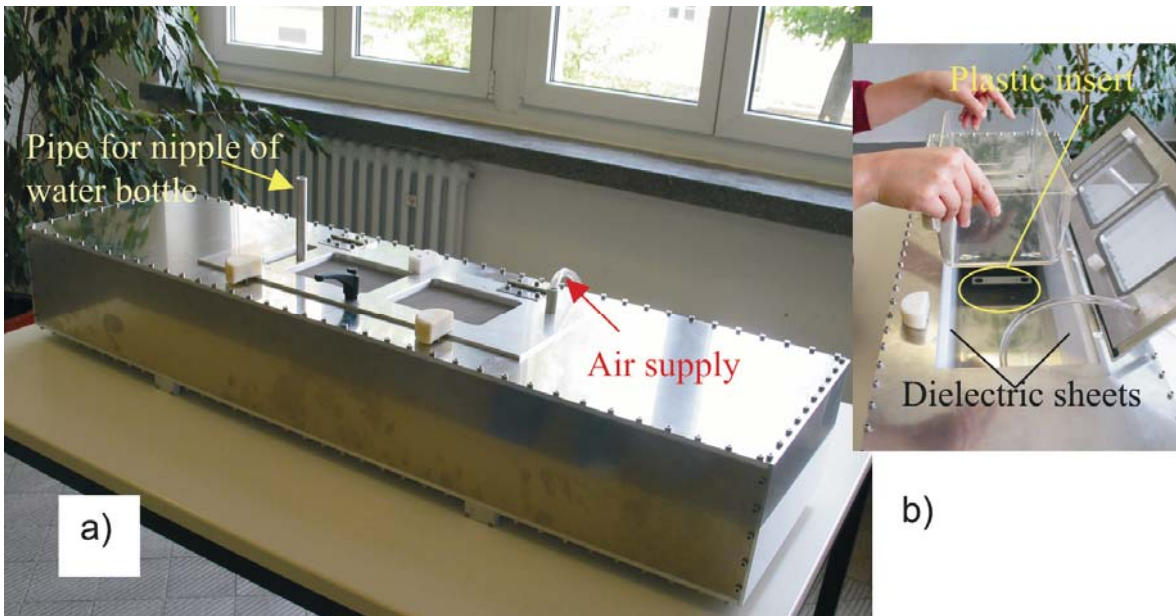




Fig. 13:



Fig. 14:





Fig. 15:

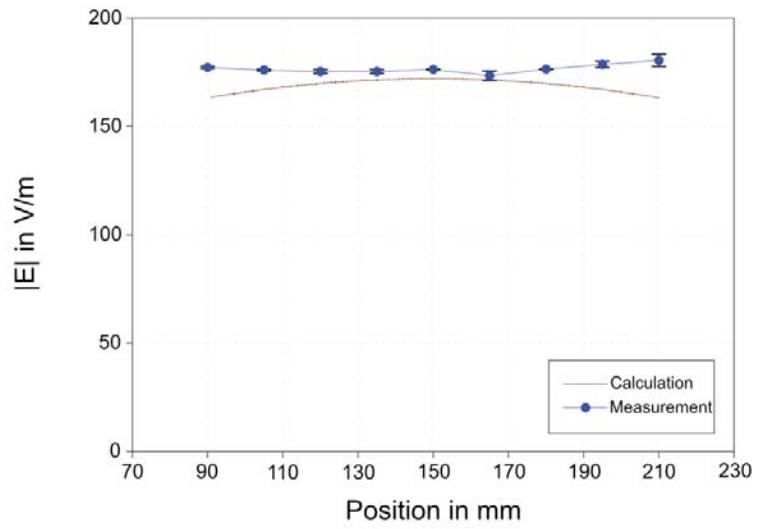


Fig. 16:

