

## Final Report

*Please delete as applicable.*

Project reference: C2006-07

Applicant's name: Dr. Georg Neubauer

Project title: Untersuchung der Korrelation zwischen den Messwerten von HF – Dosimetern und der tatsächlichen Exposition von Personen

---

### 1. State of Research.

#### 1.1 Research activities performed, milestones and deliverables accomplished

Die Auswahl geeigneter Methoden der Expositionsabschätzung ist für die wissenschaftliche Qualität einer epidemiologischen Studie von fundamentaler Bedeutung. In der jüngsten Vergangenheit hat es sich gezeigt, dass die Verwendung von Exposimetern ein vernünftiger Ansatz zur Bestimmung individueller Expositionsprofile ist, man muss sich aber dabei auch der Einschränkungen von Exposimetern bewusst sein. Abgesehen von Ihrem eingeschränkten Dynamikbereich ist zu berücksichtigen, dass diese Geräte nur eine Abschätzung der Exposition liefern. Daher wurde beschlossen, das Verhältnis zwischen dem nahe am Körper am Ort des Exposimeters bestimmten elektrischen Feld und der Exposition zu bestimmen. Die Exposition wird als die am Ort des menschlichen Körpers ohne Anwesenheit des Körpers auftretende elektrische Feldstärke definiert.

Das Projekt besteht aus vier Arbeitspaketen:

- Sammlung und Bewertung von verfügbaren wissenschaftlichen Informationen über Untersuchungen mit HF Exposimetern, Festlegung repräsentativer, zu untersuchender Expositionsszenarien
- Validierung numerischer Untersuchungen durch Messungen
- Simulationen, Definition der Korrelation zwischen den Messwerten der Exposimeter und der Exposition von Menschen
- Empfehlungen im Hinblick auf die Verwendung von Exposimetern in epidemiologischen Studien und auf weitere Entwicklungen

#### 1.2 Findings

Die Suche nach verfügbaren wissenschaftlichen Daten über den Zusammenhang zwischen Messwerten von Exposimetern und der tatsächlichen Exposition, also den elektrischen Feldstärken am unbesetzten Ort des Körpers, brachte nur wenige Ergebnisse. Knafl und Kollegen verwendeten Phantome zur Untersuchung des Einflusses des menschlichen Körpers auf die Messwerte der Exposimeter. Sie fanden sowohl im UMTS und im GSM Band eine Unterschätzung durch die Exposimeter.

Im Rahmen dieses Projektes wurden zwei verschiedene Szenarien mit numerischen Tools untersucht, es wurde der „Visible Human“ als Phantom verwendet. Für UKW, GSM und UMTS wurde ein städtisches Outdoor Szenario untersucht, die Sendeantenne war auf einem von vier Gebäuden einer Straßenkreuzung montiert. Für die Untersuchungen von WLAN wurde ein Indoor Szenario mit einer Antenne unterhalb eines Pultes überprüft. Der durchschnittliche Grad der Unterschätzung betrug bei GSM 0,76, bei UMTS 0,87; bei UKW wurde keine Unterschätzung beobachtet (Verhältnis 1,0). Das Maß der Unterschätzung wurde als das Verhältnis der am Ort des Exposimeters gemittelten Feldstärke zur am unbesetzten Ort der Person gemittelten Feldstärke definiert. Im Falle von WLAN war der Grad der Unterschätzung stärker ausgeprägt und betrug 0,64.

Um die Ergebnisse der numerischen Simulationen zu überprüfen, wurden Messungen mit Exposimetern in einem echoarmen Raum durchgeführt. Im Allgemeinen trugen zwei Freiwillige Exposimeter bei Feldwerten weit unterhalb den Grenzwertempfehlungen für die Allgemeinbevölkerung der ICNIRP aus dem Jahr 1998. Die Messwerte der Exposimeter wurden mit der mit Hilfe von frequenzselektiven Messgeräten bestimmten Exposition verglichen. Das arithmetische Mittel mehrerer mit dem Exposimeter bestimmten Messwerte wurde herangezogen. Die stärksten Abweichungen zwischen Exposimetermessungen und Exposition wurden im UMTS Band (0,33) und im WLAN Band (0,29) gefunden.

Im UKW und GSM Band war der Grad der Unterschätzung mit 0,69 und 0,65 geringer. Wie auch bei den Simulationen wurde ein allgemeiner Trend zur Unterschätzung der Exposition durch Exposimeter beobachtet. Der Grad der Unterschätzung wird sogar noch stärker ausgeprägt, wenn man die einzelnen Messwerte anstelle der arithmetischen Mittel von Messwerten der Exposimeter betrachtet: für GSM beträgt der normierte Mittelwert der Unterschätzung 0,44, für UMTS 0,14, für UKW 0,55 und für WLAN 0,17. Wenn man alle Messwerte zusammen nimmt, erreicht die Unterschätzung 0,3. Diese Ergebnisse bedeuten nicht notwendigerweise, dass in allen Fällen die Verwendung von Exposimetern zu einer Unterschätzung der Exposition führt. Die Anwendung eines multivariablen Regressionsmodelles auf die Antennessa Messungen zeigt beispielsweise, dass bei dorsaler Exposition mit dem Exposimeter am Rücken bei Exposition durch GSM 900 Felder in einem Abstand von 3 m zur Sendeantenne und der Verwendung von Reflektoren, dass das Exposimeter zu einer Überschätzung der Exposition um einen Faktor führen 1.43 würde. Dies bedeutet, dass 143 % der tatsächlichen Exposition bestimmt werden würden. Die meisten Kombinationen der Variablen führen jedoch zu einer Unterschätzung der Exposition durch das Exposimeter.

### 1.3 Problems

Wenn man die Gesamtheit der Ergebnisse der Studie heranzieht stellt sich die Frage welche Korrekturfaktoren heranzuziehen sind, wenn man Exposimeter verwendet. Da für die Simulationen ein Körpermodell eines Mannes mit einem Gewicht von 105 kg herangezogen wurde, das für die Allgemeinbevölkerung nicht sehr repräsentativ ist, empfehlen wir die Korrekturfaktoren aus dem messtechnischen Teil der Studie zu verwenden. Dies führt dazu, dass man für den Frequenzbereich von GSM 900 Downlink und für UKW einen Korrekturfaktor von zwei verwenden kann. Für das UMTS Downlink Band kann ein Korrekturfaktor von 10 verwendet werden, die WLAN Daten sind zu gering, um Schlussfolgerungen zu ziehen. Es ist zu berücksichtigen, dass wir die Untersuchungen auf Basis der einzelnen Messwerte herangezogen haben. Dies ist ein konservativer Ansatz, bei Verwendung von Mittelwerten der Messungen anstelle der einzelnen Messwerte würden etwas kleinere Korrekturfaktoren zur Anwendung kommen. Jedenfalls führt die Verwendung von Exposimetern in den meisten Fällen zu einer Unterschätzung der Exposition.

Es können einige Empfehlungen für die Verwendung von Exposimetern gegeben werden:

- 1) Vor der Übergabe von Exposimetern an Freiwillige ist die Funktionsfähigkeit des Gerätes zu überprüfen
- 2) Exposimeter sollen in regelmäßigen Intervallen kalibriert werden, es wird empfohlen reale Funksignale anstelle von CW Signalen zu verwenden
- 3) Da der menschliche Körper einen beträchtlichen Einfluss auf die Messergebnisse von Exposimetern nimmt, wird die Verwendung von Korrekturfaktoren empfohlen
- 4) Es ist wichtig zwischen den Perioden, in denen das Exposimeter am Körper getragen wird und denen, in denen es nahe der Person plaziert wird zu unterscheiden
- 5) Den in der Betriebsanleitung vom Hersteller angeführten Empfehlungen ist Folge zu leisten, dies bedeutet beispielsweise, dass der spezifizierte Temperaturbereich berücksichtigt werden soll
- 6) Am Beginn der Messungen sollen die Batterien des Exposimeters vollständig aufgeladen sein, die interne Uhr des Exposimeters soll mit Referenzuhren synchronisiert werden
- 7) Die Abtastdauer des Exposimeters soll im Rahmen von Messkampagnen harmonisiert werden
- 8) Die Verwendung eines Mobiltelefons soll vom Benutzer aufgezeichnet werden, ein Minimalabstand zwischen Exposimeter und Mobiltelefon soll eingehalten werden, um einen Betrieb des Exposimeters außerhalb seines Dynamikbereiches zu vermeiden
- 9) Das Exposimeter soll nicht in die unmittelbare Nähe von leistungsstarken Niederfrequenz- und Hochfrequenzquellen gebracht werden, Beispiele sind MRT, Diathermiegeräte, Plastischweißgeräte, Transformatoren sowie RFID Geräte – es ist zumindest erforderlich solche Perioden im Protokoll aufzuzeichnen und die Art der Geräte zu bestimmen, um nachträglich die Möglichkeit zu haben, Out of Band Coupling zu identifizieren
- 10) Das Exposimeter soll immer an der gleichen Stelle am Körper getragen werden  
Es wird empfohlen, das Exposimeter in einem Rucksack zu tragen, der Gürtelclip kann verwendet werden, um das Exposimeter mit Bändern im Rucksack zu fixieren

- 11) In Perioden der Nicht Bewegung soll das Exposimeter in adequater Distanz vom Benutzer aufgestellt werden. Solche Perioden können das Sitzen an einem Tisch oder vor dem Fernseher sein. Unter adequater Distanz wird eine solche verstanden, in der eine Beeinflussung des Messergebnisses durch den Körper weitgehend ausgeschlossen werden kann, die aber trotzdem für die Exposition des Benützers repräsentativ ist. Entfernungen zwischen 0,5 und 1 m erscheinen geeignet zu sein
- 12) Das Exposimeter soll in Höhen aufgestellt werden, die der momentanen Lage des Rumpfes bzw. des Kopfes des Benützers entsprechen. Dies kann am Schreibtisch im Büro oder am Nachtkästchen sein. In einem Auto erscheint der Beifahrersitz als adequate Position für das Exposimeter.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass die Studie einige Einschränkungen aufweist. Zuerst ist zu erwähnen, dass nur sehr wenige Expositionsszenarien untersucht wurden. Andere Szenarien mit Mehrwegausbreitung führen zu anderen Expositionsbedingungen und daher auch zu anderen Verhältnissen zwischen Exposimetermesswerten und Exposition. Außerdem ist es sowohl für die Simulationen als auch die Messungen erforderlich, die Untersuchungen auf andere Anatomien und Morphologien zu erweitern. Zuletzt wird empfohlen, Messungen mit wesentlich mehr Probanden durchzuführen. Die meisten Untersuchungen wurden nur mit zwei Personen durchgeführt, Untersuchungen mit mehr Probanden würden härtere Schlussfolgerungen über den Zusammenhang zwischen Exposimetermessdaten und der Exposition erlauben.

## 2. Annex

### 2.1 Publications

Neubauer, G.; Giczi, W.; Cecil, S.; Petric, B.; Preiner, P.; Fröhlich, J.<sup>1</sup>:

"Evaluation of the Correlation between RF Exposimeter Reading and Real Human Exposure"

EMC Zurich Munich 2007, September 24 - 29, 2007, Munich, Germany, Conference CD, 3 pages, WS 8 RF Health Risks

<sup>1</sup> Swiss Federal Institute of Technology (ETH), ETZ Zentrum, Switzerland

Neubauer, G.; Cecil, S.; Petric, B.; Preiner, P.; Giczi, W.; Rösli, M.<sup>1</sup>; Fröhlich, J.<sup>2</sup>: „ Evaluation of the Correlation between RF Exposimeter Reading and Real Human Exposure“, Oral presentation at the 30th annual meeting of the Bioelectromagnetics Society, June 9-12, 2008, San Diego, California, USA. Abstract Collection pp. 126-127.

<sup>1</sup> University of Bern, Bern, Switzerland

<sup>2</sup> ETH Zürich, Zurich, Switzerland

### 2.2 Documents

Neubauer, G.; Cecil, S.; Giczi, W.; Petric, B.; Preiner, P.; Fröhlich, J.<sup>1</sup>: "Evaluation of the Correlation between RF Dosimeter Reading and Real Human Exposure", Zwischenbericht zum Forschungsauftrag von der Forschungsstiftung Mobilkommunikation, ARC-Report ARC-IT 0199, 15 Seiten, März 2007

<sup>1</sup> ETH Zürich, Electromagnetic Fields and Microwave Electronics Laboratory

Neubauer, G.; Cecil, S.; Giczi, W.; Petric, B.; Preiner, P.; Fröhlich, J.<sup>1</sup>; Rösli, M.<sup>2</sup>: Final Report on the Project C2006-07 „ Evaluation of the Correlation between RF Exposimeter Reading and Real Human Exposure“, ARC – Report ARC-IT-0218, 93 pages, April 2008

<sup>1</sup> ETH Zürich, Zurich, Switzerland

<sup>2</sup> University of Bern, Bern, Switzerland