

EMV-Messungen in Wohnquartieren

URS KNAFL UND HUGO LEHMANN **Die Qualität der Mobilfunknetze wird heute unter anderem mit Messfahrzeugen überprüft. Für Messungen in Wohnzonen sind Personenwagen aber ungeeignet, da damit nicht alle Bereiche zugänglich sind. In einem Pilotprojekt konnte nun aufgezeigt werden, dass ein Fussgänger mit Kleinstmessgeräten Daten erfassen kann, die sich für die Erhebung der Exposition durch elektromagnetische Felder eignen.**

Eine Feldstärkemessung hinsichtlich elektromagnetischer Umweltverträglichkeit in einem Park, auf einem Fussgänger- oder Wanderweg, in einem schmalen Wohnquartiersträsschen oder auf einem Kinderspielplatz kann in der Regel infolge der engen räumlichen Verhältnisse mit einem Auto nicht durchgeführt werden. Das Messfahrzeug muss zu weit vom interessierenden Ort entfernt bleiben. Zudem eignen sich die im Fahrzeug betriebenen Feldstärkemessgeräte, Antennen und Positionsbestimmungssysteme infolge Grösse, Gewicht, Verkabelung und Energieversorgung auch nicht für einen mobilen Einsatz zu Fuss.

Im Rahmen eines Pilotprojekts konnte nun aufgezeigt werden, dass georeferenzierte Feldstärkemessungen auch zu Fuss praktizierbar sind. Georeferenziert heisst, dass zu jedem Feldstärkemesswert ein Positions Wert festgehalten wird. Damit ist es möglich, in einer Karte die Intensität der elektrischen Felder mittels einer Farbskala darzustellen (Bild 1). Das im Pilotprojekt verwendete Messsystem (Tabelle 1) wiegt blass etwas über 500 g und ermöglicht eine maximale Datenaufnahme von rund acht Stunden. Eine Verkabelung ist nicht notwendig. Erfasst werden gleichzeitig unter anderem Radio, TV und Mobilfunkaussendungen. Eine weitere Miniaturisierung ist durchaus denkbar: Swisscom Innovations wird demnächst ein System bereitstellen, das inklusive Batterien weniger als 200 g wiegt, sodass es beispielsweise zugunsten besserer Messresultate in einen Hut eingebaut werden könnte.

Tabelle 1. Evaluierte Geräte.

Gerät, Typ	Ausgangsgrösse	Im Pilotprojekt verwendet
Dosimeter DSP090 von ANTENNESSA	Feldstärke	Ja
Dosimeter ESM-140 von maschek	Feldstärke	Nein
GPS-Empfänger Garmin Geko301	Position	Ja

Feldstärkemessgerät

Das im Pilotprojekt verwendete Messgerät erfasst die Feldstärken breitbandig in neun Frequenzbereichen (UKW, TV Bd3, TV Bd4&5, GSM900tx, GSM900rx, GSM1800tx, GSM1800rx, UMTSrx, UMTSrx). Im Mobilfunkbereich wird jeweils im Uplink und Downlink separat gemessen. Durch die Beschränkung auf die breitbandige Messung einzelner Frequenzbänder wird bezüglich dem Anlagegrenzwert (3 bis 6 V/m) der Verordnung über den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (NISV) [1] eine recht gute Empfindlichkeit erreicht (kleinster messbarer Wert = 0,05 V/m).

Die interessierenden Frequenzbänder liegen in der Regel relativ nahe beieinander. Um die Bänder genügend von einander trennen zu können, besitzt das Gerät zusätzlich eine digitale Signalverarbeitung. Das Pilotprojekt hat gezeigt, dass Aussendungen im unteren GSM900-Band fälschlicherweise zusätzlich dem TV Band 4 und 5 zugeordnet werden.

Durch den über alles gesehen relativ grossen Frequenzbereich muss der Hersteller bei der Konstruktion der ebenfalls im Gehäuse befindlichen Empfangsantennen punkto Messgenauigkeit Kompromisse eingehen. So beträgt beispielsweise der Isotropiefehler gemäss den technischen Angaben des Herstellers bei den oberen Frequenzen $\pm 2,5$ dB. Die Messperson verschlechtert die Isotropie zusätzlich. So wurde bei Messungen im Absorberraum an einem einfachen Körperphantom festgestellt, dass bei der Abdeckung durch den Körper die Messwerte bei gleich einfallendem Feld um bis zu einer Grössenordnung differieren können. Die besten Messresultate sind deshalb zu erwarten, wenn vom Messgerät aus eine freie Rundumsicht herrscht. In der Praxis liesse sich das Messgerät deshalb beispielsweise sinnvollerweise in einem Hut unterbringen.

Für die in diesem Bericht beschriebene Anwendung gibt es minimale Anforderungen an das Feldstärkemessgerät. Das Anforderungsprofil ist in Tabelle 2 ersichtlich.

GPS-Empfänger

Für die in diesem Bericht beschriebene Anwendung gibt es minimale Anforderungen an den GPS-Empfänger. Auch diese Anforderungen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Für eine Darstellung der Immissionen, wie sie in Bild 1 und 2 ersichtlich sind, genügt es, den GPS-Empfänger im Standalone-Modus zu betreiben (ohne Zuhilfenahme zusätzlicher Korrekturdaten). Inwieweit Differential-GPS oder WAAS (Wide Area Augmentation System) das Resultat verbessern könnten, wäre in weiteren Messungen vor Ort noch zu untersuchen. Ein Hersteller von GPS-Hardware

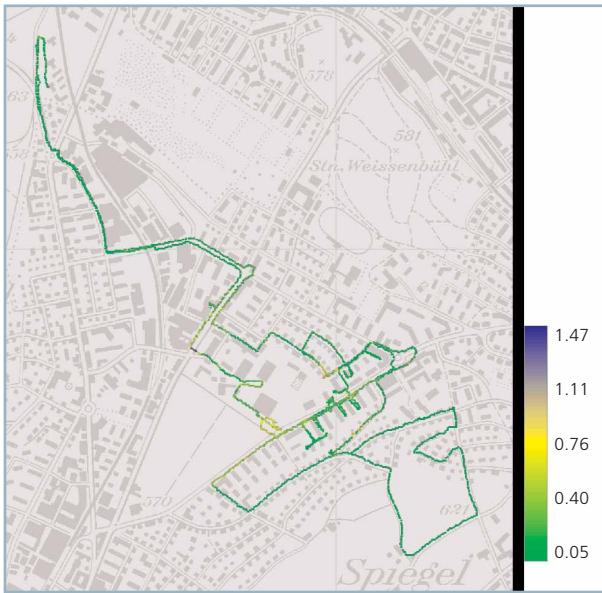


Bild 1. Gemessene Immissionen für GSM-900-Basisstationen.
Werte in Volt pro Meter.

hat kürzlich bekannt gegeben, dass demnächst auch GPS-Signale in Innenräumen empfangen werden können. Somit wären dann an vielen Orten mit empfindlicher Nutzung georeferenzierte Feldstärkemessungen möglich.

Software

Während der Messung besteht keine Verbindung zwischen GPS-Empfänger und Feldstärkemessgerät. Die Messperson wird so nicht durch Kabelverbindungen gestört. Im Weiteren wird das zu messende E-Feld weniger beeinflusst. Eine drahtlose Verbindung wiederum hätte den Nachteil, dass zusätzliche Elektronik notwendig wäre, die ausserdem auch noch den Stromverbrauch erhöhen würde. Zudem wären im Fall einer drahtlosen Datenverbindung auch hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) gewisse Massnahmen erforderlich. Die Software verbindet deshalb die Feldstärkedaten erst nach der Messung mit den Positionsdaten. Dazu wird die Zeitinformation verwendet, die sowohl im GPS-Empfänger für jede Position als auch im Messequipper für jeden Feldstärkewert vorliegt. Im Pilotprojekt wurde unter anderem folgende Open-Source-Software eingesetzt:

- das Betriebssystem Linux
- das geografische Informationssystem GIS/GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)
- der GPS-Manager und
- diverse Standard-Unix-Befehle und Grafik-Tools.

Alle Programme werden mit einem Shellskript aufgerufen. Das Skript erledigt ebenfalls kleinere Aufgaben, beispielsweise die Umrechnung vom World Geodetic System (WGS) in Schweizer-Koordinaten oder das Setzen des richtigen Kartenausschnitts.

Resultate aus der Pilotmessung

Im Kartenausschnitt in Bild 1 und 2 gibt es mindestens fünf Mobilfunkstandorte (nicht eingezeichnet). Aufgrund der im Pilotprojekt am 21. September 2005 zwischen 09.30 und 12.30 Uhr erfassten und in Bild 1 und 2 ersichtlichen

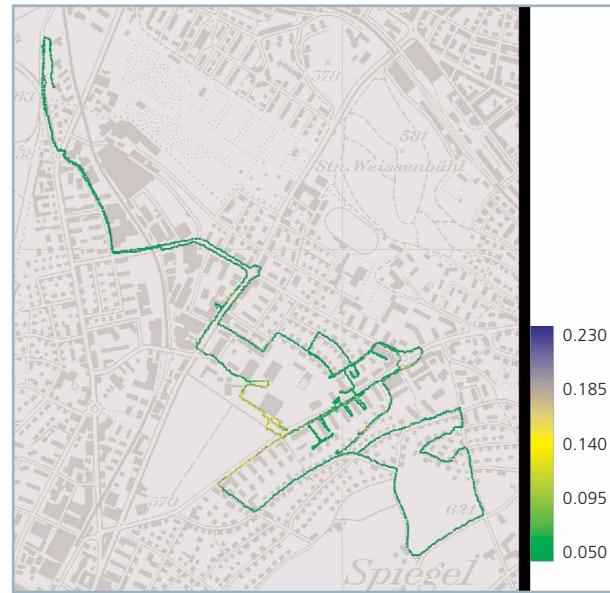


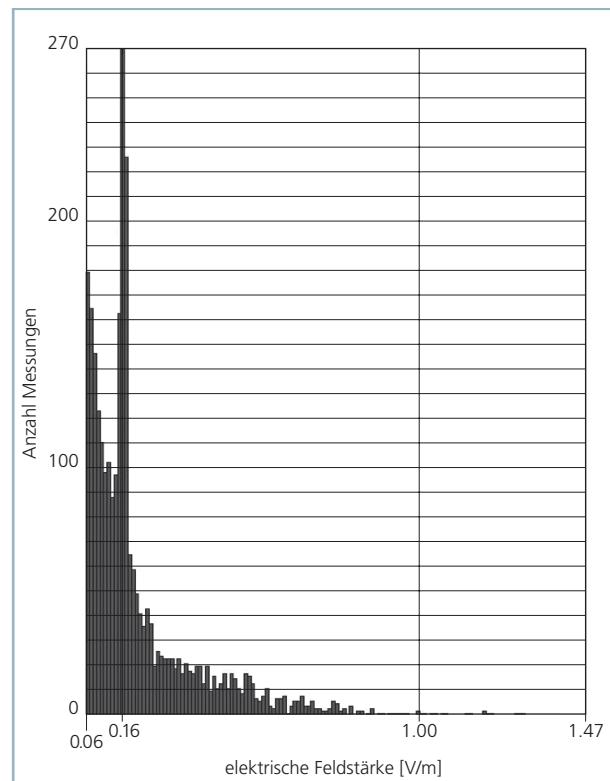
Bild 2. Gemessene Immissionen für UMTS-Basisstationen.
Werte in Volt pro Meter.

jeweils 3600 Messpunkte lassen sich bereits einige Tendenzen hinsichtlich auftretender Mobilfunkimmissionen in Wohnquartieren erkennen:

Bild 1 zeigt die gemessenen Feldstärken für GSM900, Bild 2 für UMTS. Es fällt auf, dass die auftretenden Feldstärken bzw. Immissionen beim UMTS geringer sind als beim GSM900. Inwieweit dies auf die unterschiedliche Auslastung der beiden Systeme zurückzuführen ist, kann im Moment nicht beurteilt werden. Dazu wären weitere Untersuchungen notwendig.

Das Histogramm in Bild 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung

Bild 3. Histogramm für die gemessenen Werte gemäss Bild 1.



	Feldstärkemessgerät	GPS-Empfänger
Gewicht und Abmessung	Möglichst geringes Gewicht und geringe Abmessung, damit das Gerät bequem getragen werden kann	
Empfänger	Abdeckung der populärsten Frequenzbänder (mindestens Mobilfunk) Empfindlichkeit: $\leq 0,05 \text{ V/m}$	Auf dem Markt erhältliches 12-Kanal-Gerät neuster Generation
Betriebsdauer	Betrieb während mindestens 8 Stunden ohne Batteriewechsel oder Akkuladung	
Messdauer	Mindestens alle 3 Sekunden die Pegel aller Frequenzbänder registrieren und dies während mindestens 5 Stunden	Jede Sekunde die notwendigen Daten während mindestens 5 Stunden
Minimal notwendige Daten, die pro Messort geräteintern gespeichert werden müssen	Feldstärke(n) und Zeit	Breitengrad, Längengrad und Zeit
Datenschnittstelle	RS232 oder USB; wird vor und nach der Messung benötigt; offenes Datenformat	
Anzeige	LED-Betriebsanzeige (kein Display erforderlich)	Geschätzte Genauigkeit der Position (simples Schwarz-Weiss-LCD genügt)
Uhr	Die interne Uhr sollte pro Stunde nicht mehr als rund 2s abweichen, da die Zeitinformation zur Zusammenführung der Daten verwendet wird.	GPS-Zeit wird versendet, um die Uhr des Messempfängers einzustellen.

Tabelle 2. Minimales Anforderungsprofil für Feldstärkemessgerät und GPS-Empfänger.

der elektrischen Feldstärke, generiert durch die GSM-900-Basisstationen. Der wahrscheinlichste Wert liegt dabei bei 0,16 V/m. Es ist hierbei anzumerken, dass von den insgesamt 3600 Messpunkten die mehr als 800 Orte mit Messwerten von 0,05 V/m (untere Messgrenze des Dosimeters) im Histogramm nicht eingezeichnet sind, da diese Klasse auch kleinere Feldstärkewerte enthält. Aus diesem Grunde ist der Median der Verteilung tiefer als das Maximum der Häufigkeitsverteilung, nämlich ungefähr 0,13 V/m. In einer einfachen Modellrechnung, basierend auf Freifeldausbreitungsberechnungen [2], ergeben sich für ein ähnlich besiedeltes Gebiet vergleichbare Werte: Der Median der Exposition der Bevölkerung lag hier bei 0,18 V/m. Auch die Berechnungen für UMTS ergeben – in Übereinstimmung mit den Messungen (Bild 2) – wesentlich tiefere Werte (Median bei 0,10 V/m) als bei GSM.

Im Weiteren geht klar hervor, dass die in der NISV [1] und der Vollzugsverordnung [3] vorgeschriebenen Immissions- und Anlagegrenzwerte (IGW = 42 V/m, AGW = 4 V/m) an allen gemessenen Orten gut eingehalten werden.

Für einige der in Bild 1 und 2 ersichtlichen Messorte sind die Feldstärkewerte zusätzlich mit einem rechnerischen Verfahren bestimmt und dann mit den Messwerten verglichen worden. Dabei konnte eine erstaunlich gute Übereinstimmung festgestellt werden. Es ist vorgesehen, dem derzeit bei Swisscom verwendeten Berechnungsprogramm Triton (siehe NIS-Prognosen bei Mobilfunkbasisstationen [4]) ein digitales Oberflächenmodell, DOM, zu hinterlegen. Somit wäre ein Vergleich zwischen allen Mess- und Berechnungswerten einfacher möglich und die Übereinstimmung könnte in konkreten Zahlen angegeben werden.

Fazit

Im Unterschied zu Messungen mit konventioneller Ausrüstung ist es mit dem hier vorgestellten System mit geringem Aufwand möglich, an bisher unerreichbaren Orten eine grosse Anzahl an Immissionsmessungen durchzuführen und die Werte anschaulich in einer Karte darzustel-

len. Das vorgeschlagene Vorgehen ermöglicht somit eine messtechnische Überprüfung von Modellen, die zur Expositionserfassung dienen. Die Kombination von Messung und Modellrechnung könnte einen wesentlichen Beitrag zur besseren Erfassung der realen Expositionen durch elektromagnetische Felder leisten. ■

Urs Knafl, El.-Ing. HTL, Swisscom Innovations,
urs.knafl@swisscom.com

Dr. Hugo Lehmann, dipl. Physiker, Swisscom Innovations,
hugo.lehmann@swisscom.com

Referenzen

- [1] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 1. Februar 2000, www.admin.ch/ch/d/sr/c814_710.html
- [2] H. Lehmann, U. Herrmann, B. Eicher, A. Trostel, P. Fritschi, M. Moser, General public exposure to electromagnetic fields generated by mobile phone base stations, Contribution to the cost281 workshop on RF exposure assessment, Paris, September2004, http://www.cost281.org/documents.php?node=89&dir_session=
- [3] Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, Vollzugsempfehlung zur NISV, BUWAL, 28. Juni 2002, http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/vorschriften/ve_mobilfunk_d.pdf
- [4] U. Knafl und E. Brandt, NIS-Prognosen bei Mobilfunkbasisstationen, Comtec 10/2003, 21-27

Abkürzungen

- DOM: Digitales Oberflächenmodell
 GPS: Global Positioning System
 GSM: Global System for Mobile Communications
 NISV: Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
 UMTS: Universal Mobile Telecommunication System