

Konzept und Messungen für ein Smartphone-basiertes Immissions-Monitoring-System

Dipl.-Ing. Sascha Schießl, RWTH Aachen, Deutschland

B. Sc. Tam Ta, RWTH Aachen, Deutschland

M. Sc. Thomas Kopacz, RWTH Aachen, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling, RWTH Aachen / Fraunhofer FHR, Deutschland

1 Motivation und Hintergrund

Das Immissions-Monitoring elektromagnetischer Felder gehört zu einem verantwortungsvollen Technikfolgenmanagement beim Betrieb von Mobilfunknetzen. Die Realisierung eines flächendeckenden und kontinuierlichen Monitorings ist jedoch aufgrund des mit herkömmlichen Methoden verbundenen Aufwands nicht möglich. Abhilfe könnte ein Crowdsourcing-basierter Ansatz schaffen, der auf die Erhebung von Messdaten mittels Standard-Smartphones setzt. Der vorliegende Kongressbeitrag beschreibt wie ein derartiges Monitoring-Konzept aussehen kann und welche Herausforderungen es bei einer Umsetzung eines solchen zu meistern gilt. Außerdem werden messtechnische Vergleiche zwischen Smartphone-Messungen und denen eines frequenzselektiven Feldstärkemessgeräts präsentiert.

Der klassische Ansatz zur Durchführung von Immissionsmessungen ist der Einsatz von professionellem Messequipment und fachkundigem Personal, was beides mit einem hohen Kosten- und Zeitaufwand verbunden ist. Gleichzeitig ist es nicht möglich zeitlich kontinuierlich und flächendeckend zu messen. Stattdessen wird in der Regel eine begrenzte Anzahl einzelner Messpunkte zu diskreten Zeitpunkten erfasst. Langzeitmesssysteme wie etwa das Automatische Messsystem (AMS) der Bundesnetzagentur [2] liefern zwar Messdaten über 24 Stunden, können aber nicht zuletzt zum Schutz vor Vandalismus nur an nicht allgemein zugänglichen Orten platziert werden, wodurch die Messungen letztlich an weniger relevanten Orten aufgezeichnet werden.

Ein innovativer Ansatz zur Lösung dieser Probleme stellt eine Crowdsourcing-basierte Erfassung von Immissionsdaten mithilfe von gewöhnlichen Smartphones dar, wie sie in [3] grob skizziert wurde.

2 Konzept

Ein derartiges Konzept beruht auf der Tatsache, dass Mobilfunkendgeräte zum Einbuchen in eine Funkzelle und zur Aufrechterhaltung der Verbindung regelmäßig Empfangsparameter erfassen, die mit der Feldstärke des Mobilfunk-Downlinks und somit auch mit der Immission verwandt sind. Zwar ist die Einzelmessung eines Smartphones mit größeren Unsicherheiten behaftet, vor allem wenn der Einfluss des Nutzers hinzukommt, als es beim Einsatz eines dezidierten Feldstärkemessgeräts der Fall ist, aber dafür lassen sich Messwerte in wesentlich größerer Zahl erfassen. Hierfür kommt das sogenannte Crowdsourcing zum Einsatz, bei dem die Datenerhebung von wenigen Fachleuten auf

eine große Zahl von Laien übertragen wird, die mit ihren Smartphones Messwerte aufzeichnen. Grundsätzlich kann dies mit aktiver Mitwirkung des Nutzers geschehen, der einzelne Messungen startet, oder aber nach entsprechender Zustimmung kontinuierlich im Hintergrund erfolgen. Werden diese Messwerte von einer großen Menge an Endgeräten und in kurzen Zeitabständen aufgezeichnet, lassen sich diese Daten zentral sammeln und auswerten. Auf diese Weise fallen die Unsicherheiten der Einzelmessung weniger ins Gewicht und es kann eine höhere Datenqualität gewonnen werden. Eine spezielle App kann die Messdaten erfassen, zwischenspeichern und an einen Cloud-Dienst weitergeben. Dort können die Daten aufbereitet und ausgewertet werden. Zu erfassen sind, neben den Messwerten selbst, der Zeitpunkt und die genaue Position der Messung. Weitere Informationen über den Nutzungszustand können helfen den möglichen Einfluss des Nutzers abzuschätzen.

3 Vorteile eines auf Smartphones basierenden Monitoring-Konzepts

Die wesentlichen Vorteile eines derartigen Ansatzes sind offensichtlich: Es ist weder besonders geschultes Personal notwendig noch muss spezielle Mess-Hardware beschafft werden, da Smartphones ohnehin vorhanden und weit verbreitet sind. Sie bieten außerdem den Vorteil, dass sie durch Neuanschaffungen der Nutzer technisch stets auf dem neuesten Stand gehalten werden und somit auch die aktuellen Funkdienste erfassen können. Damit entfallen die entsprechenden Kosten und Verzögerungen, die es bei der Einführung neuer Immissionsmesstechnik häufig gibt.

Aufgrund der Tatsache, dass sich Smartphones in der Regel stets in der Nähe ihrer Nutzer befinden, werden die Messdaten dort erhoben, wo es relevant ist, nämlich an Orten, an denen sich Personen aufhalten. Es entfällt außerdem das Problem, dass in Bereichen mit beschränkten Zugangsmöglichkeiten in der Regel keine Immissionsmessungen vorgenommen werden können.

Nicht zuletzt lässt sich auf diese Weise eine annähernd kontinuierliche Messung über Raum und Zeit realisieren, die zwar nicht lückenlos ist, aber dennoch wesentlich dichter als es mit herkömmlichen Methoden möglich wäre.

4 Herausforderungen

Trotz der genannten Vorteile gibt es einige Herausforderungen zu bewältigen, um verwertbare Ergebnisse zu erzielen. Zum einen wird eine ausreichend große Nutzerbasis benötigt, die bereit ist die benötigten Daten von ihrem Smartphone erfassen zu lassen. Hierfür sind ggf. entsprechende Anreize zu schaffen, z. B. indem der Nutzer für die Bereitstellung eine andere erstrebenswerte Funktionalität erhält. Außerdem ist sicherzustellen, dass die Erfassung datenschutzkonform erfolgt und ein Missbrauch der Daten, die auch die Erstellung von Bewegungsprofilen ermöglichen könnte, auszuschließen.

Jenseits dieser Rahmenbedingungen zum Aufbau eines solchen Monitoring-Systems müssen zwei Hauptfragen beantwortet werden:

1. Wie hängen die Messparameter des Smartphones mit der Immission zusammen?

2. Wie kann die Menge der gesammelten Daten ausgewertet werden, um zu einer höheren Genauigkeit gegenüber der Einzelmessung zu kommen?

Schließlich sind die verbleibenden Ungenauigkeiten abzuschätzen und zu bewerten.

5 Messparameter bei heutigen Mobilfunkstandards

Ein wesentlicher vom Smartphone erfasster Messwert bei LTE ist die sogenannte Reference Signal Received Power (RSRP) [4], die auf der Messung des permanent und mit konstanter Sendeleistung ausgestrahlten Referenzsignals beruht. Die heute verbreitete Methode zur auslastungsunabhängigen Immissionsbestimmung im LTE-Downlink setzt ebenfalls auf die Erfassung dieses Werts [1] und ermöglicht bei bekannten Anlagenparametern, wie etwa der Kanalbandbreite, eine Hochrechnung auf Maximalimmission bei Anlagenvollauslastung. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, dass Mobilfunkendgeräte lediglich die Leistung am Empfängereingang bestimmen, nicht aber die zugrundeliegende Feldstärke, die an der Antenne vorliegt. Der Antennenfaktor ist für die Funktion des Endgeräts nicht erforderlich und deshalb unbekannt.

Bei UMTS gibt es mit der Received Signal Code Power (RSCP) [4] eine ähnliche Messgröße wie bei LTE, die die Leistung des permanent und mit konstanter Leistung ausgesendeten Pilotkanals (Primary Common Pilot Channel (P-CPICH)) bestimmt. Bei der auslastungsunabhängigen Immissionsbestimmung im UMTS-Downlink wird dieser Kanal codeselektiv aus dem gesamten UMTS-Signal extrahiert und die durch ihn verursachte Feldstärke bestimmt. Bei bekanntem Verhältnis von gesamter Sendeleistung bei Vollauslastung der Funkzelle und der Leistung des Pilotkanals ist somit eine Hochrechnung auf Anlagenvollauslastung möglich.

Bei GSM hingegen gibt es keine codeselektive Messgröße, die von den Endgeräten erfasst wird. Hier wird mit dem Received Signal Strength Indicator (RSSI) [4] die Leistung auf dem sogenannten Broadcast Control Channel (BCCH) gemessen, wobei sämtliche Leistung einbezogen wird, unabhängig davon aus welcher Quelle diese stammt. Da bei GSM jedoch die Frequenzen an einem Ort immer nur von einer Funkzelle belegt sein können, kann eine einzelne Funkanlage als Quelle angesehen werden. Die Sendeleistung des BCCH ist konstant. Dies wird auch in der Immissionsmesstechnik genutzt, um die Maximalimmission zu ermitteln. Es wird die Feldstärke auf dem BCCH bestimmt und anhand der zusätzlich genutzten Traffic Channels (TCH) auf Vollauslastung der Funkzelle hochgerechnet.

Die folgenden Messungen zeigen einen Vergleich zwischen den mit dem selektiven Feldstärkemessgerät SRM-3006 von Narda und einem bzw. mehreren Smartphones erfassten Messwerten, um auf den unbekanntem Umrechnungsfaktor zu schließen.

6 Messungen

Ziel der Messungen ist es für die Funkdienste LTE, UMTS und GSM zu demonstrieren, dass sich bei einer ausreichenden Anzahl an Messungen ein konstanter Umrechnungsfaktor von Smartphone-Messwert zur Feldstärke finden lässt. Hierfür wurden das Smart-

phone und die Messantenne des SRM-3006 nacheinander für eine Minute im gleichen Messvolumen geschwenkt und der jeweils aufgetretene Maximalwert der Feldstärke des jeweiligen Messsignals und des Smartphone-Messwerts festgehalten. Da es sich bei allen Messungen um auslastungsunabhängige Messgrößen handelt, sind Abweichungen aufgrund der sequenziellen Abfolge der Messungen nicht zu erwarten. Um den Nutzereinfluss für diese Untersuchung zunächst zu minimieren wurde das Smartphone auf einem Klemmbrett liegend durch das Messvolumen bewegt.

Bild 1 zeigt für LTE das Ergebnis aus 46 Messungen mit einem Smartphone vom Modell Huawei P10 im Vergleich zu den Feldstärkemessungen des SRM-3006. Die Messdaten wurden mit einer eigens entwickelten App aus dem Android-Betriebssystem ausgelesen und aufgezeichnet. Die Messungen decken einen Dynamikbereich von etwa 40 dB ab. Als mittlerer Umrechnungsfaktor zwischen RSRP und Referenzsignal ergibt sich bei Betrachtung des Medians 149,6 dB. Insgesamt reicht der Wertebereich des Umrechnungsfaktors von 144,9 dB bis 154,6 dB und überdeckt demnach insgesamt 9,7 dB. Das bedeutet, dass sich die Werte ziemlich genau um ± 5 dB vom Median unterscheiden. Die Gerade, der sich die Werte annähern besitzt nahezu die Steigung wie für einen konstanten Umrechnungsfaktor zu erwarten.

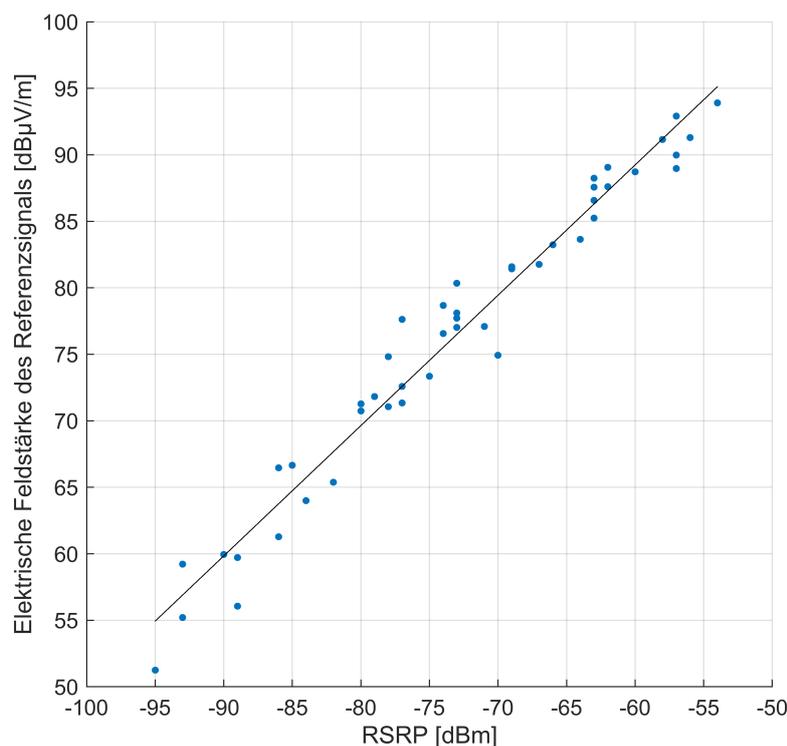


Bild 1: Vergleich des vom Smartphone erfassten RSRP mit dem durch ein Feldstärkemessgerät gemessenen Referenzsignal bei LTE

In Bild 2 werden Messungen von vier Smartphones im Vergleich gezeigt. Hierfür wurden an insgesamt 13 Punkten Messungen mit den Smartphones und dem SRM 3006 nacheinander durchgeführt. Die Geraden ergeben sich wie zuvor durch lineare Regression aus den Messwerten und zeigen Unterschiede für den Umrechnungsfaktor. Außerdem entsprechen die Steigungen der Geraden nicht dem Idealwert für einen konstanten Umrechnungsfaktor. Hier macht sich gegenüber der zuvor gezeigten Einzelmessung vermut-

lich die geringere Anzahl an Messwerten bemerkbar. Die mittleren Umrechnungsfaktoren reichen von 150,0 dB bis 155,0 dB.

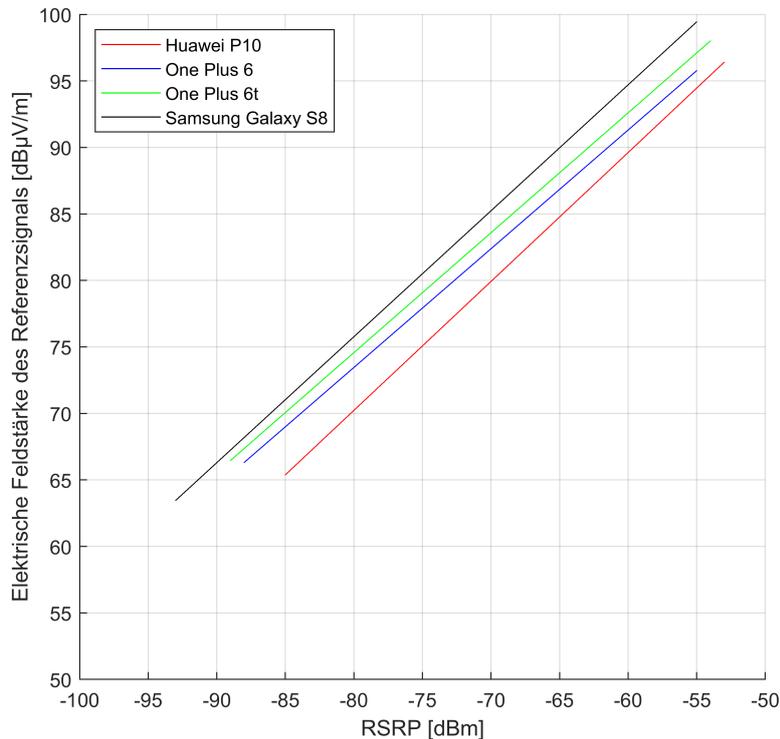


Bild 2: Vergleich des von vier unterschiedlichen Smartphones erfassten RSRP mit dem durch ein Feldstärkemessgerät gemessenen Referenzsignal bei LTE

Die Ergebnisse für den Funkdienst UMTS sind in Bild 3 dargestellt. In diesem Fall wurden 20 Messwerte mit einem Smartphone vom Modell OnePlus 6 zum Vergleich mit der co-deselektiven Messung des SRM-3006 aufgenommen. Der Umrechnungsfaktor zwischen RSCP und elektrischer Feldstärke des Pilotkanals reicht von 150,0 dB bis 159,8 dB. Der Median liegt bei 154,9 dB. Es ergibt sich also wie zuvor bei LTE, dass die maximalen Abweichungen mit ± 5 dB um den Median liegen. Die bestimmte Regressionsgerade weicht von der idealen Steigung ab und ist geringfügig zu steil. Dies mag an der geringeren Anzahl an Messungen als bei der LTE-Messreihe liegen.

Bei GSM wurden 10 Messwerte mit dem Huawei P10 aufgezeichnet. Bild 4 gibt die Ergebnisse wieder. Für den Umrechnungsfaktor von RSSI zur elektrischen Feldstärke ergeben sich Werte von 138,2 dB bis 158,7 dB und somit eine Spanne von knapp über 20 dB, die doppelt so groß ist wie bei den Messungen von LTE und UMTS. Wird der Ausreißer mit 138,2 dB vernachlässigt, reduziert sich der Wertebereich auf etwas mehr als 11 dB und weicht nicht mehr ganz so stark von denen der LTE- und UMTS-Messungen ab. Der Median liegt bei 150,6 dB. Bildet man trotz der Abweichungen und der geringen Anzahl an Messpunkten eine Regressionsgerade, so liegt diese dennoch bereits relativ nah an der idealen Steigung für einen konstanten Umrechnungsfaktor.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer hohen Anzahl an Messungen grundsätzlich eine Annäherung an einen mittleren konstanten Umrechnungsfaktor erreicht werden kann.

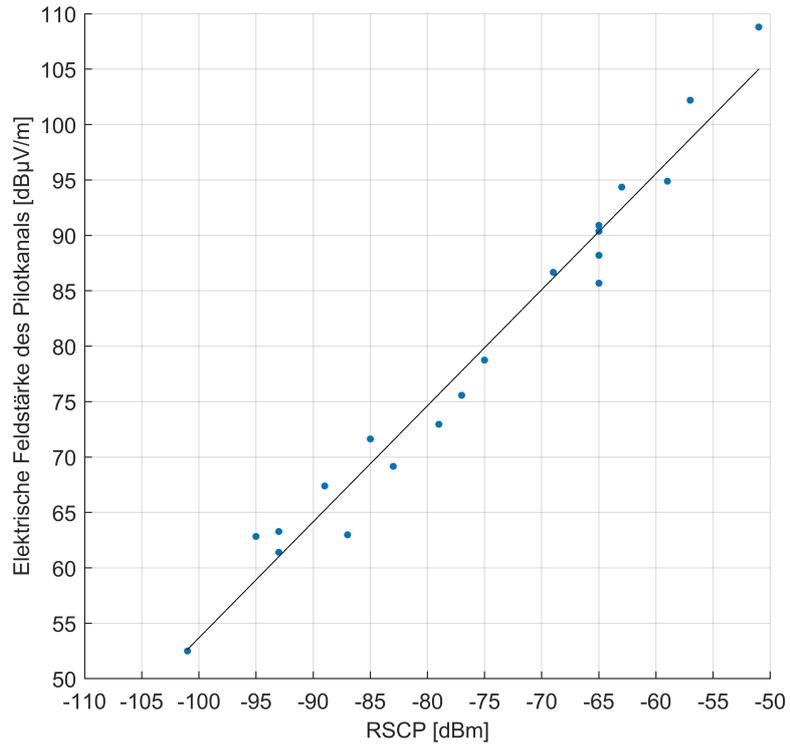


Bild 3: Vergleich des vom Smartphone erfassten RSCP mit dem durch ein Feldstärkemessgerät gemessenen elektrischen Feldstärke des Pilotkanals bei UMTS

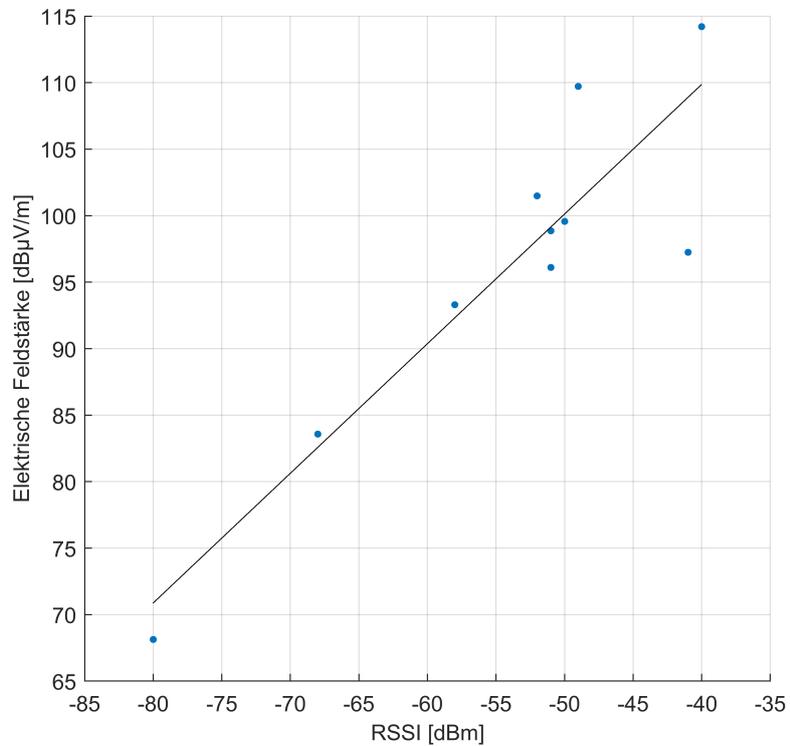


Bild 4: Vergleich des vom Smartphone erfassten RSSI mit dem durch ein Feldstärkemessgerät gemessenen elektrischen Feldstärke des Kanals bei GSM

Dieser kann sich jedoch je nach Endgerät um einige dB unterscheiden. Es wäre durch weitere Untersuchungen zu ermitteln, ob diese Unterschiede modellspezifisch sind oder ob sie vom individuellen Gerät abhängen und einer Serienstreuung unterliegen. Abhängig davon wäre zum Beispiel grundsätzlich eine näherungsweise Kalibrierung für gängige Smartphone-Modelle denkbar.

7 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde ein Konzept für ein Immissions-Monitoring vorgestellt, das auf einem Crowdsourcing-basierten Ansatz unter Nutzung von Standard-Smartphones beruht. Die Vorteile und Herausforderungen bei einer Umsetzung wurden diskutiert. Anhand von Messdaten von Smartphones im Vergleich mit einem frequenzselektiven Feldstärkemessgerät konnte gezeigt werden, dass sich ein mittlerer Umrechnungsfaktor ermitteln lässt, der sich jedoch offensichtlich für verschiedene Modelle unterscheiden kann.

Literatur

- [1] BORNKESSEL, C.: *Immission measurements in the vicinity of LTE base stations – Part 2: Measurement methods, Application Note*. 2013
- [2] BUNDESNETZAGENTUR: *AMS-Messtechnik*. – https://emf3.bundesnetzagentur.de/ams_technik.html
- [3] SCHIESSL, S. ; KOPACZ, T. ; BORNKESSEL, C. ; HEIN, M. ; HEBERLING, D.: Concepts for innovative measuring methods to monitor EMF exposure evolution. In: *The Joint Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association (BioEM)*, 2018, S. 208 – 212
- [4] THE 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP): *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements, 3GPP TS 36.214, version 15.3.0 Release 15*. 2018