

GSM-Mobilfunk mit EDGE: Messung nichtionisierender Strahlung

PETER FRITSCHI UND HUGO LEHMANN **Zur einheitlichen Überprüfung der NISV (Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung) bei GSM-Mobilfunkanlagen wird in der Schweiz seit drei Jahren im Vollzug eine entsprechende Messempfehlung angewendet. Inzwischen ist die Aufrüstung der GSM-Netze mit EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) im Gang. Aus den Eigenschaften von EDGE ergeben sich neue Anforderungen hinsichtlich der Messtechnik.**

Um auch in Zukunft die Einhaltung der Grenzwerte korrekt überprüfen zu können, wird in diesem Artikel ein Ansatz zur Erweiterung der GSM-Messempfehlung vorgestellt.

Ergänzend zum Aufbau des Mobilfunknetzes der 3. Generation (UMTS) sind die Schweizer Mobilkommunikationsanbieter im Begriff, die GSM-Netze mit EDGE aufzurüsten. Dieser Schritt – man spricht auch von der 2,5. Generation im Mobilfunk – soll den Übergang von der 2. zur 3. Generation erleichtern. In dieser Betriebsart können einzelne Timeslots (TS) des GSM-Signals bei Verkehrsbedarf auf EDGE umschalten. Davon betroffen können auch die Kanäle sein, auf denen der BCCH (Broadcast Control Channel) übermittelt wird. Die seit drei Jahren angewendete Messempfehlung für Mobilfunkbasisstationen (GSM) von BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) und METAS (Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung) basiert auf der Messung der BCCH-Frequenzen. Eine Möglichkeit, wie trotz dieser Veränderung in jedem Fall eine unveränderte Qualität der Messresultate sichergestellt werden kann, wird in diesem Beitrag erläutert. Dieser Vorschlag wurde von Swisscom Innovations im Auftrag von Swisscom Mobile entwickelt.

Relevante Aspekte des GSM/EDGE-Signals

Für die Beurteilung des elektromagnetischen Felds (EMF) gilt die Messempfehlung für GSM-Mobilfunkstationen. Sie wird anhand der BCCH-Kanäle mit handelsüblichen Spektrumanalysatoren oder Messempfängern ausgeführt und nützt dabei aus, dass diese Kanäle mit konstanter Amplitude ausgesendet werden. Dies ist für die GSM Timeslots aufgrund der GMSK-Modulation (Gaussian Minimum Shift Keying) gegeben. EDGE Timeslots sind mit 8PSK (Eight Phase Shift Keying) moduliert. Dies hat eine zeitliche Änderung der Signalfeldstärke zur Folge und betrifft nur die EDGE Timeslots, die bei EDGE-Verkehr anstelle der GSM Timeslots auf der Trägerfrequenz gesendet werden. Mittels Änderung der Modulation können anstelle eines Bits pro Symbol drei Bits pro Symbol kodiert werden (Bild 1), was letztlich die grössere Datenrate bei EDGE ermöglicht.

Nebst der unterschiedlichen Modulation von EDGE ist noch der Leistungsaspekt zu beachten. Zwar entspricht der Mittelwert der Sendeleistung von EDGE Timeslots der Leistungseinstellung der Sendeendstufen. Die benötigte Spitzenleistung ist jedoch abhängig vom Symbol, das zu übertragen ist. Aus diesem Grund wird in einer Mobilfunkzelle, die an ihrer oberen Leistungsgrenze betrieben wird, die mittlere Leistung der EDGE Timeslots gegenüber der mittleren Leistung der GSM Timeslots um 3 dB abgesenkt. Die Leistungsreserve der Sendeendstufe wird damit sowohl für GSM wie für EDGE Timeslots optimal ausgenutzt. Es ist vorstellbar, dass sich Mobilfunknetze unterschiedlicher Hersteller hinsichtlich dieser Absenkung von EDGE Timeslots anders verhalten, wobei jedoch eine höhere mittlere Leistung von EDGE Timeslots gegenüber den GSM Timeslots ausgeschlossen werden kann.

Äquivalente Timeslot-Leistungen von GSM und EDGE – Auswirkungen auf die Messresultate

Wie sehen die Messresultate bei äquivalenten Timeslot-Leistungen von GSM und EDGE aus? Gemäss Messempfehlung für GSM-Mobilfunkstationen muss an einem Messort das Feldstärke-Maximum gesucht werden. Durch Abtasten eines Messvolumens am Messort mit einer Messantenne kann dies sichergestellt werden. Häufig wird dafür die Bezeichnung «Schwenkmethode» verwendet. Die höchste Signalfeldstärke während des Schwenkvorgangs wird mittels der «Max Hold»-Funktion festgehalten und ergibt das Resultat der Messung. Gemessen werden sollte der Effektivwert mit einem «True RMS»-Detektor (Root Mean Square).

Gehen wir in Gedanken von einem Signal aus, das aus vier Timeslots GSM, gefolgt von vier Timeslots EDGE besteht, und bei dem GSM und EDGE Timeslots die gleiche mittlere Leistung aufweisen. Gleichzeitig sei vorausgesetzt, dass die Messantenne genau am Ort mit der höchsten Feldstärke fixiert bleibe. Der Spektrumanalysator misst nun Anzeigepunkt für Anzeigepunkt seines Displays – auch Pixel genannt – den eingestellten Anzeigebereich durch und zwar mit der einstellbaren so genannten Sweeptime. Präziser ausgedrückt: Er bildet aus den laufend anfallenden Messwerten am A/D-Wandler einen RMS-Wert über eine Dauer, die der Sweeptime dividiert durch die Anzahl Pixel entspricht und zeigt dann das Resultat für das entsprechende Pixel an. Wird nun ein Pixel zufällig zu einem Zeitpunkt gemessen, zu dem ein EDGE-Signal am Messgerät anliegt, und ist die Messzeit eines Pixels relativ zur Dauer eines Timeslot klein, kann infolge «Max Hold» ein zu grosser Messwert registriert werden. Zu gross meint hier deutlich

höher als die mittlere Signalleistung und als dieselbe Messung nur mit GSM-Signal. Bild 2 zeigt ein praktisches Beispiel mit einer RMS-Bildung sowohl über 80 µs wie auch über 577 µs. Beträgt die Messzeit eines Pixels wie im Beispiel 80 µs (Sweeptime von 50 ms), so ergibt sich in der Praxis ein rund 1,3 dB höherer Messwert als bei GSM. Dieser Unterschied entsteht in der Praxis zufällig, je nachdem, ob gerade EDGE Timeslots aktiv sind oder nicht.

Gegenmassnahme

Bei äquivalenten Timeslot-Leistungen von GSM und EDGE ergibt sich ein einfacher Vorschlag aus den oben geschilderten Sachverhalten: Der RMS-Wert eines Pixels sollte über die Dauer eines GSM bzw. EDGE Timeslots (d. h. 577 µs) gebildet werden. So resultiert zumindest ein Messwert, welcher der mittleren Leistung des ganzen Timeslots entspricht. Diese ist sowohl für GSM wie für EDGE Timeslots etwa gleich gross. In der Praxis ergeben sich mit 300 bis 400 Pixel Sweeptimes von 173 bis 230 ms, was noch praxisgerecht ist. Längere Sweeptimes sind ungünstig, da dadurch die Schwenkgeschwindigkeit beim Abtasten des Messvolumens vermindert werden muss. Andere als «True RMS»-Detektoren ergeben bei EDGE-Verkehr zu hohe Werte und sollten bei dieser Methode nicht mehr verwendet werden.

Reduzierte Timeslot-Leistungen von EDGE – Auswirkungen auf die Messresultate

Zusätzlich zum zufällig im GSM-Signal vorhandenen EDGE-Signal können jetzt noch wie erwähnt die EDGE Timeslots mit reduzierter mittlerer Leistung gegenüber GSM gesendet werden. Es ist vom Netzbetreiber her bekannt, welche Zelle, das heisst Trägerfrequenz den EDGE-Pegel gegenüber dem GSM-Pegel reduziert aussendet. Es handelt sich dabei um einen Netzparameter, der bis zu einer Neuparametrierung stabil bleibt. Auch die Grösse der Absenkung ist bekannt. Es müssen nicht zwingend 3 dB sein.

Gehen wir in Gedanken wieder zurück zu einem Signal, das aus vier Timeslots GSM, gefolgt von vier Timeslots EDGE besteht und bei dem die EDGE Timeslots gegenüber den GSM Timeslots 3 dB reduziert ausgesandt werden, und tasten wir das Messvolumen mit der Messantenne nach der höchsten Feldstärke ab. Gehen wir weiter davon aus, dass beim Erreichen der höchsten Feldstärke gerade EDGE Timeslots gesendet werden. Unter diesen Umständen könnte ein bis zu 3 dB zu kleiner Feldstärkewert gemessen werden. Natürlich kann es sein, dass die Antenne lange genug am Ort mit der höchsten Feldstärke belassen wird, bis wieder ein GSM Timeslot gesendet wird. Ebenfalls kann es sein, dass die Feldstärke um den Ort des Maximums nicht stark abfällt. In beiden Fällen ist eine Abweichung von weniger als 3 dB zu erwarten. Da aber beide Aspekte – zeitliche Abfolge GSM/EDGE-Timeslots und Feldstärkeverlauf um das Maximum – nicht bekannt sind, können sie auch nicht ausgeschlossen werden. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass in der Praxis durch die relativ präzisen Zeitbasen sowohl der Basisstationen wie der Spektrumanalysatoren bei konstanter Timeslotabfolge (z. B. 4 TS GSM und 4 TS EDGE) bei der Messung einer bestimmten Frequenz immer wieder dieselbe Art Timeslots gemessen werden. Anhand eines Markers auf der betroffenen Kanalfrequenz kann die Veränderung des Pegels meist beobachtet werden.

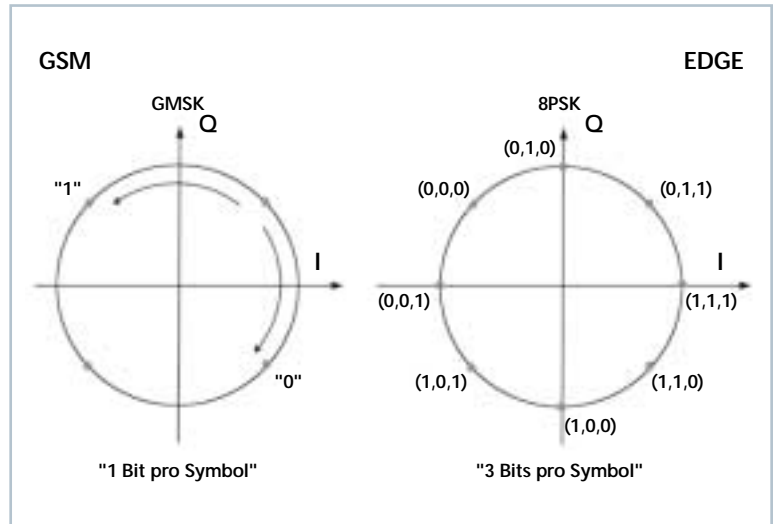


Bild 1. Modulation GSM und EDGE im IQ-Diagramm.

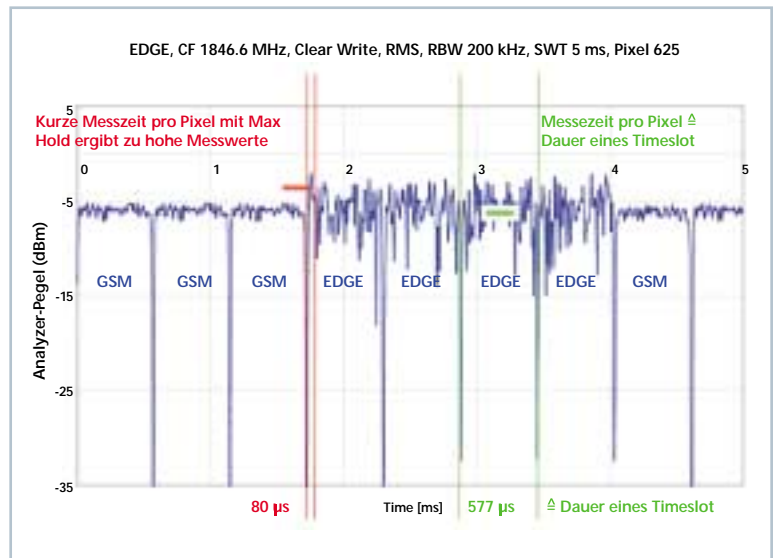


Bild 2. Bildung der RMS-Werte bei äquivalenten Timeslot-Leistungen GSM und EDGE (Darstellung zur Demonstration mit kleinerer Sweeptime als vorgeschlagen).

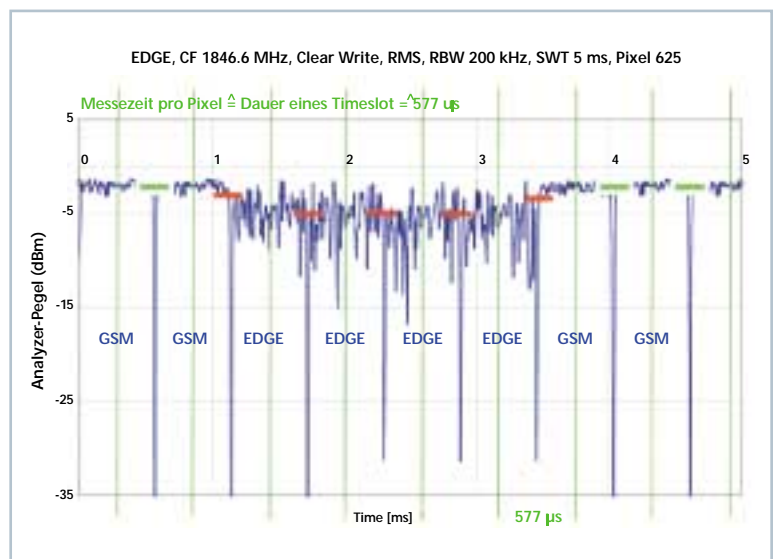


Bild 3. Bildung RMS-Werte bei reduzierten Timeslot-Leistungen von EDGE (Darstellung zur Demonstration mit kleinerer Sweeptime als vorgeschlagen).

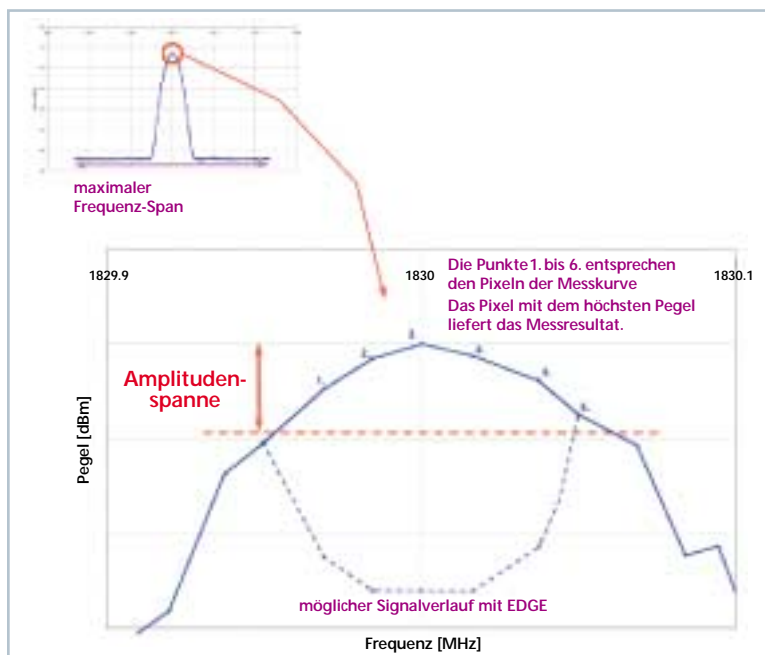


Bild 4. Messung im Frequenzbereich bei reduzierten Timeslot-Leistungen von EDGE.

Gegenmassnahme

Erklärung des Verfahrens

Gibt es nun ein Verfahren, das trotz der aufgezeigten Eventualitäten verlässliche Resultate liefert? Nehmen wir an, man belässt die Einstellung des Spektrumanalysators wie gehabt und die Messzeit eines Pixels entspricht der Dauer eines Timeslots. Der Spektrumanalysator sei dabei fest auf eine GSM- bzw. EDGE-Frequenz eingestellt (Zero Span). Der Spektrumanalysator zeigt nun nacheinander Pixel für Pixel die Pegel der GSM Timeslots oder die abgesenkten Pegel der EDGE Timeslots an. Abgebildet (Bild 3) und veranschaulicht ist der Fall, wenn die Messperiode für ein Pixel nicht synchron mit den Timeslots des GSM/EDGE-Signals ist. In diesem Fall zeigen mehr Pixel als die Anzahl der EDGE Timeslots einen zu tiefen Pegel an (rot). Die restlichen Pixel (grün) ergeben die korrekte Amplitude. Würden nur die Pixel gemessen, die während eines GSM Timeslots aufgenommen wurden, dann erhielte man mit Sicherheit korrekte Messresultate.

Üblicherweise wird mit dem Spektrumanalysator ein ganzer Frequenzbereich gemessen, der mehrere GSM Kanäle umfasst. Die GSM-Kanäle werden auf der Frequenzachse als relativ breite Spitzen dargestellt, die in der Nähe der GSM-Kanalfrequenz relativ flach verlaufen. Auch hier stimmt die Überlegung für GSM- bzw. EDGE-Träger, dass je nach aktuellem Signal für jedes angezeigte Pixel der GSM- oder der reduzierte EDGE-Pegel angezeigt wird.

Hier liegt der Ansatzpunkt zur Gegenmassnahme darin, bei reduzierter Timeslot-Leistung von EDGE trotzdem den gewünschten GSM-Pegel zu messen (Bild 4). Wird der Span (Frequenzbereich in der Abszisse) nicht allzu breit eingestellt, wird es Pixel in der Nähe der Kanalmittefrequenz geben, die während eines GSM Timeslots des Signals gemessen wurden. Diese sind gegenüber dem Pixel auf der Kanalmittefrequenz jedoch aufgrund der Filterform des jeweiligen Spektrumanalysators reduziert und nicht auf-

grund der Pegeldifferenz der GSM und EDGE Timeslots. Gelingt es nun, den Spektrumanalysator so einzustellen, dass eine um zwei Timeslots grössere Anzahl Pixel als die maximal mögliche Anzahl EDGE Timeslots gemessen wird und dabei die Abnahme des Pegels aufgrund der Filterform in einem kontrollierten Umfang bleibt, sollte dennoch eine akzeptable Messung resultieren. Die Grösse der Abweichung, also die «Amplitudenspanne», hängt davon ab, in welchem Umfang eine Abweichung im Messresultat toleriert werden kann. Als höchster Messwert der maximalen im Messvolumen gemessenen elektrischen Feldstärke wird der Wert der höchsten Pixel um die Kanalmittefrequenz verwendet.

Praktische Umsetzung

Um die eben beschriebenen Vorgaben in die Praxis umzusetzen, muss die individuelle Filterform des verwendeten Spektrumanalysators qualifiziert werden. Mit einem relativ kleinen Span wird dafür ein reines GSM-Signal mit nur einem Trace (Messdurchgang) festgehalten. Jetzt muss zuerst die Amplitudenspanne festgelegt werden. Je nach gesamter Messunsicherheit der zusammen verwendeten Messmittel kann diese Wahl getroffen werden. Anhand des gespeicherten Traces kann nun ermittelt werden, wie viele Pixel innerhalb der Amplitudenspanne liegen. Mit einer Dreisatzrechnung kann jetzt berechnet werden, wie breit der maximale Span sein darf, damit nur noch zwei Pixel mehr als die maximale Anzahl EDGE Timeslots, die hintereinander folgen können, innerhalb der Amplitudenspanne liegen. Eine Unterschreitung dieses maximalen Spans ist natürlich erlaubt, denn so liegen entgegen der Abbildung einfach mehr Pixel innerhalb der Amplitudenspanne.

Messunsicherheit

Trotz allen vorgestellten zusätzlichen Festlegungen am Messverfahren ist es in der Praxis mit «Max Hold» bei äquivalenten Timeslot-Leistungen von GSM und EDGE möglich, dass das Messresultat maximal rund 0,7 dB höher ist, als dies beim reinen GSM-Signal der Fall wäre. Wie erwähnt, ist bei EDGE in der Standardisierung vom Langzeitmittelwert die Rede, nicht vom Mittelwert über einen Timeslot. Daneben kann bei reduzierten EDGE-Timeslot-Leistungen ein Messfehler im Rahmen der Amplitudenspanne auftreten. Die beiden Fehler treten nur auf, wenn zum Zeitpunkt der Messung EDGE-Verkehr stattfindet und die Messantenne gerade am Ort mit der höchsten Feldstärke ist. Um allen diesen Umständen gebührend Rechnung zu tragen und trotzdem eine transparente, praxisgerechte Lösung hinsichtlich Messunsicherheit zu erhalten, wird folgende Behandlung der Messunsicherheit vorgeschlagen:

Bei Messungen mit EDGE wird entweder ein Unsicherheitsbetrag von 0,7 dB oder der Betrag der Amplitudenspanne als Komponente in die Messunsicherheitsberechnung einbezogen. Der grössere Betrag der beiden wird als symmetrischer Einflussfaktor mit Normalverteilung in die Berechnung der Messunsicherheit einbezogen. Die Anforderung an die gesamte Messunsicherheit gemäss Messempfehlung für GSM-Mobilfunkanlagen, herausgegeben von BUWAL und METAS, kann so unverändert belassen werden.

Fazit

In diesem Bericht wurde aufgezeigt, dass durch die Analyse der Eigenschaften des zu beurteilenden Signals und der Funktionsweise der Messgeräte eine in der Anwendung einfache Erweiterung der Messempfehlung von BUWAL und METAS für GSM-Mobilfunkanlagen mit EDGE möglich wird. Für zukünftige drahtlose Technologien werden messtechnische Herausforderungen, wie hier am Beispiel EDGE beschrieben, weiter zunehmen. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, der Problematik zu begegnen: Man bedient sich entweder der Messgeräte, welche die nötige Funktionalität der betreffenden neuen Mobilfunktechnologie aufweisen (sofern das Marktangebot dafür überhaupt besteht und dieses ökonomisch tragbar ist), oder aber man versucht, die Standardmessmittel sehr gezielt einzusetzen. Prinzipiell lässt sich heute sagen, dass hauptsächlich zeitliche Abhängigkeiten der Signale bei den EMF-Messungen Probleme bieten werden. Auch der Einsatz der Schwenkmethode schafft zeitliche Abhängigkeiten, deren Berücksichtigung sich bei der Messung zukünftiger Technologien ebenfalls tendenziell erschwerend auswirken wird.

Status der Arbeiten bei Swisscom

Dieser Vorschlag ist rein informativ. Verbindlich sind die offiziellen Messempfehlungen. Das Verfahren wurde den Kreisen, welche die Messempfehlungen bestimmen, vorgestellt. Swisscom hofft mit diesem Artikel lediglich, am Beispiel GSM/EDGE detailliert aufzuzeigen, wie mit einfachen Kniffen und handelsüblichen Messgeräten gewünschte, qualitativ genügende Messresultate erarbeitet werden könnten. ■

Peter Fritschi, El.-Ing. FH und Executive MBA,
Swisscom Innovations, peter.fritschi@swisscom.com

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

Referenzen

- Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), SR 814.710, 1. Februar 2000.
- Mobilfunk-Basisstationen (GSM), Messempfehlung, herausgegeben durch das BUWAL und METAS am 28. Juni 2002.
- 3GPP TS 05.05, Technical Specification Group GSM/EDGE; Radio Access Network; Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception.