

Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen

Teil 2: Messmethoden

Das SRM-3006 bietet grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten der Messung von LTE-Basisstationssignalen mit anschließender Hochrechnung auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung: Die spektrale Messung und die codeselektive Messung. Beide Verfahren basieren darauf, dass aus dem LTE-Signal diejenigen Bestandteile „herausgefiltert“ werden, die mit definierter und konstanter, d. h. von der aktuellen Verkehrsauslastung unabhängiger Sendeleistung abgegeben werden. Beide Verfahren unterscheiden sich dahingehend, dass die spektrale Messung als ein Verfahren im Frequenzbereich arbeitet und die zu erfassenden Signale spektral vom Gesamtsignal separiert. Die andere Methode, das codeselektive Verfahren, extrahiert die zu erfassenden Signale aus dem Codebereich. Beide Verfahren werden hier gegenübergestellt und nachfolgend beschrieben.

Inhalt

Gegenüberstellung der Messverfahren	Seite	2
Codeselektive Messung	Seite	3
Spektrale Messung	Seite	10
Abkürzungen	Seite	13
Literatur	Seite	14



Autor: Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH
© 2013

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstr. 7

72793 Pfullingen, Deutschland

Tel.: +49 7121 9732-0

Fax: +49 7121 9732-790

E-mail: support@narda-sts.de

www.narda-sts.de

Gegenüberstellung der Messverfahren

Spektrale LTE-Messungen in der Betriebsart „Level Recorder“ des SRM-3006 sind eine von zwei möglichen Alternativen bei der Messung von LTE-Signalen. Allerdings stoßen sie vor allem bei einem LTE-Netz in fortgeschrittenem Aufbauzustand (d. h. mit einer gegenüber GSM- und UMTS-Stationen vergleichbaren Stationsdichte) auf folgende Beschränkungen: Bei LTE handelt es sich um ein Gleichwellennetz, d. h. alle Basisstationen bzw. alle Sektoren einer Basisstation (im Folgenden als Zellen bezeichnet) eines Betreibers in einem Frequenzband (z. B. LTE-800) senden auf derselben Frequenz. Die mit der spektralen Methode gemessene Immission ist damit die *Summenimmission* aller Zellen eines Betreibers, d. h. unterschiedliche Zellen können nicht voneinander separiert werden. Obwohl seitens des Strahlenschutzes primär die Gesamtimmission von Interesse ist, ist es für manche Messaufgabenstellungen wünschenswert, die Immission genau einer Zelle zu untersuchen und andere auszublenden. Dies lässt sich mit der spektralen Messmethode nur unzureichend realisieren, sofern die Messungen an Orten durchgeführt werden, an denen *mehrere* Zellen maßgeblich zur Gesamtimmission beitragen. Außerdem kann für den Fall, dass die unterschiedlichen Zellen bezüglich ihrer Parametereinstellungen verschieden konfiguriert sind, die maximale Immission nicht vollständig korrekt bestimmt werden, da nicht ermittelbar ist, welcher Anteil der gemessenen Immission von welcher Zelle stammt.

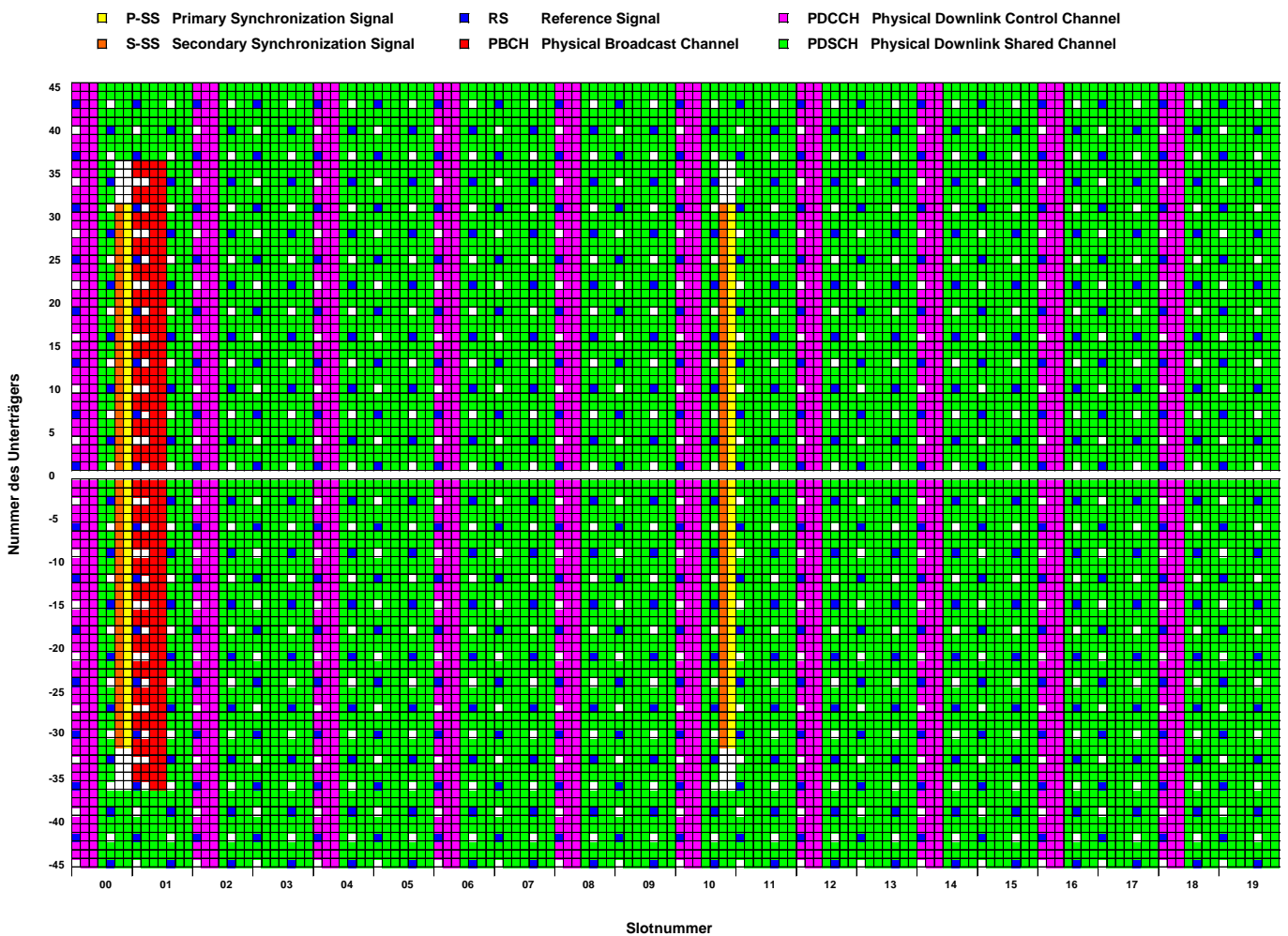
Aus diesen Gründen bietet das SRM-3006 als Option ein zweites Messverfahren an: Die codeselektive Messung. Aufgrund seiner Vorteile gegenüber dem spektralen Verfahren, insbesondere der Möglichkeit, die Immission einzelner Basisstationen und Sektoren voneinander zu separieren, kann das codeselektive Verfahren als präferiertes Verfahren zur messtechnischen Erfassung von LTE-Immissionen betrachtet werden. Gegenüber der spektralen Messung hat es eine geringere relative Dynamik. Der Einfluss der begrenzten relativen Dynamik auf die Genauigkeit der Messung bei unterschiedlichen Verkehrsauslastungen der LTE-Station ist in der Praxis noch genauer zu untersuchen; erste Studien wurden z.B. in [BOR 13] durchgeführt. Aus Gründen der Qualitätssicherung kann es deshalb durchaus sinnvoll sein, an einigen Messpunkten die spektrale Messung parallel mitlaufen zu lassen und die Ergebnisse beider Verfahren auf Plausibilität zu kontrollieren.

Code Selektive Messung

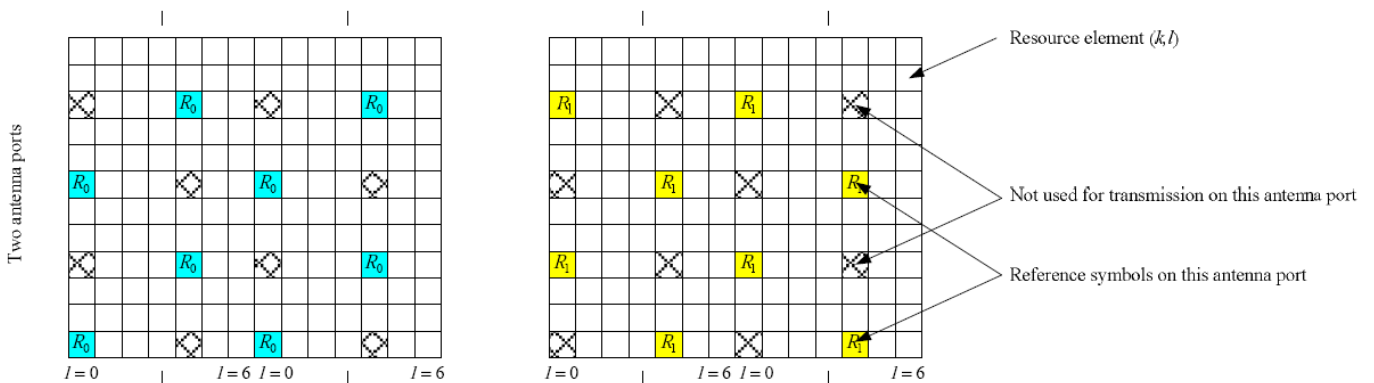
Bei der code selektiven Messung macht man sich die Tatsache zunutze, dass bei LTE-Basisstationen die Primary Synchronization Signals (P-SS), die Secondary Synchronization Signals (S-SS) und die Reference Signals (RS) *zellspezifisch codiert* sind. Zellspezifisch codiert heißt, dass für jede Basisstation und jeden Sektor einer Basisstation (Zelle) ein anderer Code verwendet wird. Durch eine Decodierung des mit der Empfangsantenne gemessenen Signals können die Immissionen aufgespalten und den jeweiligen Zellen zugeordnet werden.

Eine besondere Bedeutung bei der code selektiven Messung kommt der Erfassung der RS zu, da diese – im Gegensatz zu den P-SS und S-SS – permanent und gleichzeitig von beiden Antennen (bzw. +45°- und -45°-Polarisationsebenen bei kreuzpolarisierten Antennen)

Bild 1: Resource Grid eines LTE-Basisstations-signals einer Antennenebene für 2-Antennen-MIMO, nach [BOO]



abgestrahlt werden. Die RS belegen dabei für beide Antennen unterschiedliche Positionen im Resource Grid, siehe Bild 2 [ETSI 136.211]: In einem Symbol ist jeweils der mittlere Unterträger zwischen zwei RS ausgetastet; an genau dieser Stelle befindet sich der RS der anderen Antenne. Diese verschachtelte Anordnung ermöglicht es dem LTE-Endgerät (bzw. im vorliegendem Fall dem codeselektiven Messgerät) zu erkennen, ob das empfangene RS-Element von Antenne 0 oder Antenne 1 stammt.



Das SRM-3006 ist in der Lage, diese Decodierung durchzuführen. Die Immission der RS (pro Resource Element, gemittelt über alle erfassten RS-Elemente) werden dann als „RS 0“ und „RS 1“ ausgegeben. Nach LTE-Spezifikation sind sogar bis zu vier Antennen seitens der Basisstation möglich; die Immission der beiden zusätzlichen Antennen wird dann als „RS 2“ und „RS 3“ decodiert und ausgegeben. Dieses 4-Antennen-MIMO ist aber unseres Wissens z. B. in Deutschland derzeit nicht im Regelbetrieb implementiert.

Bild 2: Verteilung der Referenzsignale (RS) auf Antenne 0 (links) und 1 (rechts) [ETSI 136.211]

Betreiber	LTE-Band	Mittenfrequenz	Kanalbandbreite	Signalbandbreite
Telefónica	LTE-800	796 MHz	10 MHz	9 MHz
Vodafone	LTE-800	806 MHz	10 MHz	9 MHz
Telekom	LTE-800	816 MHz	10 MHz	9 MHz
Telekom	LTE-1800	1815 MHz	20 MHz	18 MHz

Die codeselektive Messung wird durch Wählen der Betriebsart „LTE“ aktiviert. In der rechten Menüleiste ist bei „Fcent“ zuerst die Mittenfrequenz des zu messenden LTE-Signals (Beispiel: Tabelle 1) einzugeben. Bei „CBW“ wird die (Kanal)Bandbreite bzw. die Anzahl der Unterträger aus dem Resource Grid ausgewählt, über die eine Decodierung der RS erfolgen soll. Soll beispielsweise ein LTE-800-

Tabelle 1: Mittenfrequenzen und Bandbreiten der derzeitigen LTE-Netze in Deutschland

Signal mit einer Kanalbandbreite von 10 MHz gemessen werden, darf als CBW maximal 10 MHz eingestellt werden. Kleinere Werte sind möglich; beim geringsten Einstellwert von 1,4 MHz (entsprechend einer Signalbandbreite von 1,08 MHz) decodiert das SRM-3006 die RS nur über einen Bereich von 72 Unterträgern um die Mittenfrequenz. Größere Werte als 10 MHz dürfen in diesem Beispiel nicht eingestellt werden, da das SRM-3006 „nicht weiß“, dass das Signal nur 10 MHz breit ist. Somit würden null-wertige RS-Anteile außerhalb des Signals in die Berechnung der über alle RS-Elemente eines Symbols gemittelten RS-Immission einbezogen werden, was zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Immission führt.

Durch die Wahl der CBW wird unmittelbar die Messzeit beeinflusst. Sofern die Schwenkmethode unter Einsatz der isotropen Antenne eingesetzt wird, ist eine CBW von 1,4 MHz obligatorisch, da schon bei der nächst höheren CBW von 3 MHz die Zeit für einen Decodierdurchlauf auf über eine Sekunde ansteigt. Bei der Verwendung der Punktrastermethode können CBW-Werte von 1,4 MHz bis zur Kanalbandbreite des zu messenden LTE-Signals verwendet werden. Je größer die CBW, desto mehr RS-Elemente pro Symbol werden in die Bildung der mittleren RS-Immission einbezogen, was vor allem im Fall von Szenarien mit starker Mehrwegeausbreitung vorteilhaft sein kann. Sofern ein dominanter Ausbreitungsweg existiert, so wie es häufig bei Immissionsmessungen mit Sichtkontakt zur Anlage der Fall ist, unterscheiden sich die Immissionswerte bei kleiner CBW nicht wesentlich von denen bei großer CBW [BOR 13].

Mit dem Softkey „Result Type“ kann, wie in den anderen Betriebsarten des SRM-3006 auch, die Art der Ergebnisauswertung eingestellt werden. Wichtig sind vor allem Actual (Act, Momentanwert jedes Decodierdurchlaufes), Maximum (Max, Maximalwert aller Durchläufe als Max-Hold) und Average (Avg, Mittelwert aller Durchläufe). Für die Schwenkmethode ist „Max“ einzustellen. Die „Act“-Funktion kann sinnvoll verwendet werden, um Raumbereiche zu identifizieren, an denen die Immission maximal ist.

Der Softkey „Extrapolation Factor“ kann zur Vereinfachung der Extrapolation auf den höchsten betrieblichen Anlagenzustand verwendet werden und wird weiter unten beschrieben.

In der horizontalen Menüleiste befindet sich der Softkey „Signal“. Hiermit kann ausgewählt werden, welche Signale vom Gerät angezeigt werden sollen. Für das im gegenwärtigen LTE-Ausbauzustand verwendete 2-Antennen-MIMO seitens der Basisstation sollten mindestens RS 0 und RS 1 ausgewählt werden. P-SS und S-SS können wertvolle Informatio-

nen darüber liefern, ob die Synchronisierungssignale gegenüber den RS „geboostet“ sind. Die Funktionen RS Avg, RS Sum und RS Max geben die mittlere Leistung über alle gemessenen Antennen bzw. die Summenleistung und die maximale Leistung an. Bei der Anwahl des Softkeys „Signal“ öffnet sich am rechten Bildschirmrand ein weiteres Menü, von dem die beiden unteren Einträge bedeutsam sind: Mit „CP Length“ kann zwischen „Normal“ und „Extended“ gewählt werden. Die derzeit verfügbaren LTE-Stationen in Deutschland werden primär mit „normalem zyklischen Präfix“ (Normal CP) betrieben. Gibt das SRM-3006 in unmittelbarer Nähe einer LTE-Basisstation keine Messwerte aus, kann hier mit Umschalten auf „Extended CP“ geprüft werden, ob die Basisstation das erweiterte Präfix verwendet. Dies kann dort der Fall sein, wo die Zellen einen großen Versorgungsradius aufweisen und starke Mehrwegeausbreitung vorliegt. „Cell Sync“ sollte standardmäßig auf „Sync“ stehen, da LTE-Netzwerke eines Betreibers typischerweise synchronisiert sind. Sofern die Signale einer vorhandenen zweiten Station nicht angezeigt werden, kann durch Umschalten auf „No Sync“ überprüft werden, ob die Signale nun erfasst werden. Allerdings erhöht sich dadurch die Decodierzeit.

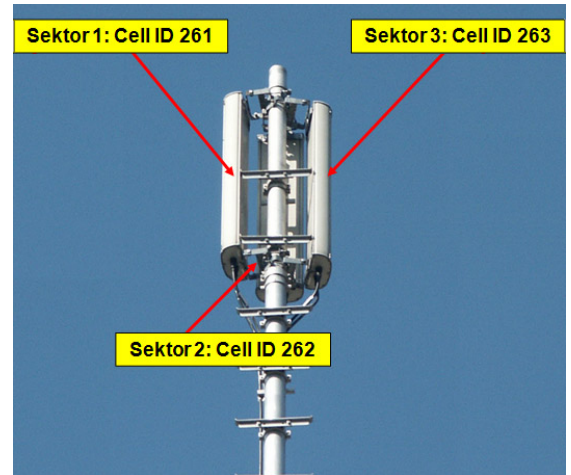


Bild 3: Konfiguration der zu messenden LTE-Basisstation

Battery:	14.12.12	GPS:	14:11:54	51°28'51.7" N Ant:	6°32'40.0" E Cable:	3AX 0.4-8G SrvTbt:	SRM 1.5 m Stnd:	Mofu-Betr:	ICNIRP GP
Table View									
Index	Cell ID	No. Ant	Max (PSS)	Max (SSS)	Max (RS 0)	Max (RS 1)			
1	262	2	89.86 dBµV/m	89.24 dBµV/m	89.74 dBµV/m	90.13 dBµV/m			
2	263	2	90.12 dBµV/m	89.59 dBµV/m	90.33 dBµV/m	90.98 dBµV/m			
Total			92.60 dBµV/m	91.94 dBµV/m	93.06 dBµV/m	92.47 dBµV/m			
Analog			103.35 dBµV/m						
Isotropic									
LTE									
Fcent:	806 MHz	CBW:	1.4 MHz	Sweep Time:	677 ms	Progress:			
MR:	141 dBµV/m	Extr. Fact.:	Off Noise Suppr.:	Off No. of Runs:	58				
Cell Sync.:		Sync. CP Length:	Normal	AVG:	4				

Bild 4: Beispiel einer codeselektiven LTE-Messung an der Anlage nach Bild 3

Bild 4 zeigt den Screenshot einer Messung an einer LTE-800-Basisstation der Firma Vodafone (Mittelfrequenz 806 MHz) nach Bild 3. Von den drei Sektoren aus Bild 3 wurden nur zwei Zellen mit den Cell ID 262 und 263 gefunden. Jeder Sektor wurde mit zwei Antennen(ebenen) identifiziert (No. Ant 2). Die Maximalwerte der gemessenen Signale P-SS, S-SS, RS 0 und RS 1 sind für jeden Sektor nahezu identisch. Dies spricht dafür, dass die Resource Elemente aller vier betrachteten Signale mit identischer Leistung gesendet wurden. Die Messung fand mittig zwischen den Sektoren 262 und 263 statt, deswegen weisen auch die RS-Immissionen beider Zellen ähnliche Werte auf. Die Immission

des Sektors 261 wird hier nicht angezeigt. Hier offenbart sich eine prinzipienbedingte Eigenschaft der codeselektiven Messtechnik: Beim Decodiervorgang werden nur solche Zellen „erkannt“, die gegenüber der dominierenden Zelle pegelmäßig nicht zu klein sind. Die „relative Dynamik“, d. h. die Schwelle, bis zu der immissionsschwächere Sektoren in Bezug auf den dominierenden Sektor noch zuverlässig erkannt werden, ist dabei abhängig von der Verkehrsauslastung der Station und der am Messpunkt vorliegenden elektromagnetischen Feldverteilung: Wenn während des Schwenkvorgangs ein Raumpunkt erfasst wird, an dem das eigentlich dominierende Signal durch Interferenzen oder die Ausprägung des Abstrahldiagramms der Basisstationsantenne (z. B. im Nebenzipfelbereich) ein lokales Minimum aufweist, können auch noch vergleichsweise schwache Signale decodiert werden. Wenn ein Sektor also vom SRM-3006 nicht angezeigt wird, heißt es in der Regel nicht, dass der Sektor zur Zeit der Messung nicht aktiv war.

Da mit der codeselektiven Messung nur die Leistung *eines* RS-Elements, gemittelt über die eingestellte CBW, gemessen wird, muss die Immission auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung hochgerechnet werden. Dazu wird für jede gemessene Zelle i ein Hochrechnungsfaktor K_i gebildet, der das logarithmische Leistungsverhältnis zwischen maximal möglicher (bzw. bei der Regulierungsbehörde beantragter) Kanalsendeleistung und der mittleren Leistung eines RS-Elements berücksichtigt:

$$K_i \text{ [dB]} = 10 \cdot \lg \frac{P_{\max,i}}{P_{\text{RS},i}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Diese Information muss vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere der Wert $P_{\text{RS},i}$ kann vergleichsweise einfach auf Plausibilität überprüft werden: Beträgt beispielsweise die maximal mögliche Sendeleistung einer LTE-800-Basisstation mit 10 MHz Kanalbandbreite (9 MHz Signalbandbreite) 20 Watt, so ist unter der Annahme, dass alle Resource Elemente eines Symbols dieselbe Leistung haben, die Leistung pro Resource Element 33,3 mW bzw. 15,2 dBm (9 MHz Signalbandbreite entspricht bei einem Trägerabstand von 15 kHz 600 RE bzw. Unterträger pro Symbol, 20 W / 600 = 33,3 mW). Bei manchen Betreibern können LTE-Stationen so konfiguriert sein, dass die RS gegenüber der mittleren Leistung der anderen RE „geboostet“ sind, d. h. z. B. mit 18,2 dBm gesendet werden. Dieser 3-dB-Aufschlag ist ohne Absenkung der Leistung der anderen RE möglich, da wie in den Bildern 1 und 2 dargestellt bei 2-Antennen-MIMO jeweils das mittlere zwischen zwei RS liegende Element ausgetastet, d. h. nicht belegt ist. Deren „fehlende“ Leistung kann somit für eine Erhöhung der gesendeten RS genutzt werden. Demzufolge kann für

eine Plausibilitätsprüfung angenommen werden, dass für ein 10-MHz-LTE-Signal mit 20 Watt maximaler Kanalsendeleistung der von den Betreibern angegebene RS-Pegel zwischen 15,2 und 18,2 dBm liegen müsste.

Für die in Bild 4 gezeigte Messung hat z.B. der Betreiber folgende Information zur Verfügung gestellt: „Die Kanalsendeleistung beträgt maximal 20 Watt, die Leistung eines RS-Elements ist auf 15,2 dBm eingestellt“. Nach Gleichung 1 würde sich für die betreffenden Zellen ein Hochrechnungsfaktor von $20\text{ W} / 33,3\text{ mW} = 600$ bzw. 27,78 dB ergeben. Dieser Faktor wird nun für jede Zelle mit der gemessenen RS-Immission (RS 0 und RS 1) nach Gleichung 2 verknüpft.

$$E_{i,\max,\text{Antenne } 0} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = E_{i,\text{gemessen,RS0}} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + K_i [\text{dB}] \quad (\text{Gl. 2a})$$

$$E_{i,\max,\text{Antenne } 1} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = E_{i,\text{gemessen,RS1}} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + K_i [\text{dB}] \quad (\text{Gl. 2b})$$

Für die Zelle 262 ergibt sich beispielsweise

$$E_{i,\max,\text{Antenne } 0} = 117,52 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m} \text{ sowie}$$

$$E_{i,\max,\text{Antenne } 1} = 117,91 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}.$$

Die Immission für die Zelle i ergibt sich als leistungsbezogene Addition der Immissionen für die Antennen 0 und 1 der jeweiligen Zelle nach Gleichung 3.

$$E_{i,\max} [\text{V}/\text{m}] = \sqrt{E_{i,\max,\text{Antenne } 0}^2 + E_{i,\max,\text{Antenne } 1}^2} \quad (\text{Gl. 3})$$

In vorliegendem Beispiel ergibt sich ein Summenwert von 1,09 V/m (vor der quadratischen Summation sind die dB μ V/m-Werte natürlich in V/m Werte umzurechnen). Die Summation nach Gleichung 3 kann im Übrigen dann entfallen, wenn die Auswertung nicht anhand der Immissionen von RS 0 und RS 1 erfolgt, sondern wenn mit dem Softkey „Signal“ der Eintrag „RS Sum“ ausgewählt wurde, da hiermit bereits die Summenimmission aus den RS der beiden Antennen 0 und 1 berechnet wird. Eine Extrapolation erfolgt dann nur noch für den Summenwert mittels Gleichung 2 durch Berücksichtigung des Korrekturfaktors K_i .

Anschließend ist die Immission aller gefundenen bzw. gemessenen Zellen leistungsbezogen nach Gleichung 4 zu summieren.

$$E_{\max} [\text{V}/\text{m}] = \sqrt{\sum_i E_{i,\max}^2} \quad (\text{Gl. 4})$$

In vorliegendem Beispiel würde sich als quadratische Summe aus 1,09 V/m für Sektor (Zelle) 262 und 1,18 V/m für Sektor 263 ein Gesamtwert von 1,61 V/m ergeben. Für die Berechnungen ist es sinnvoll, ein Excel-Arbeitsblatt zu verwenden, das die Berechnungen automatisiert durchführt. In ein solches Arbeitsblatt kann dann auch die Berechnung der Ausschöpfung der Grenzwerte nach der entsprechenden Immissionsschutzvorschrift (hier 26. BImSchV) einbezogen werden (siehe Bild 5).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Freq. in MHz / Cell_ID (LTE) / RS	Betreiber	ges. GW in V/m	E (gemessen) in dBµV/m	Faktor maximale Immission (BNetzA)	E _{max} beantragt in dBµV/m	E _{max} beantragt in V/m	E _{max} beantragt in % GW	S _{max} beantragt in mW/m ²	S _{max} beantragt in % GW
MP 1									
LTE									
806/262/RS0	Vodafone	38,6	89,7	600	117,5	0,752	1,948	1,499	0,0379
806/262/RS1	Vodafone	38,6	90,1	600	117,9	0,786	2,037	1,640	0,0415
806/263/RS0	Vodafone	38,6	90,3	600	118,1	0,805	2,084	1,717	0,0434
806/263/RS1	Vodafone	38,6	91,0	600	118,8	0,867	2,246	1,994	0,0505
					Summe:	1,61	4,16	6,85	0,173

Sind für jede der gemessenen Zellen die Korrekturfaktoren gleich, kann die Extrapolation nach Gleichung 2 auch innerhalb des SRM-3006 erfolgen. Hierbei ist im Softkey „Extrapolation Factor“ der (nicht-logarithmierte) Korrekturfaktor, im obigen Beispiel also 600, einzugeben. Alle Werte (außer „Analog“) werden dann um den Korrekturfaktor erweitert angezeigt.

Werden die Immissionen verschiedener LTE-Betreiber in verschiedenen Frequenzbereichen gemessen, dann kann die LTE-Gesamtimmission als quadratische Summation aus den einzelnen Immissionen jedes Betreibers gebildet werden.

Die korrekten Einstellungen am SRM-3006 für eine codeselektive LTE-Messung sind nebenstehend zusammengefasst.

Bild 5: Beispiel für eine automatisierte Messdatenauswertung mittels Excel

- **Betriebsart:** LTE
- **Fcent:** Mittenfrequenz des zu messenden LTE-Signals, siehe Tabelle 1
- **CBW** maximal so groß wie die Bandbreite des zu messenden Signals; für Schwenkmethode CBW = 1,4 MHz
- **Signal:** Auswahl der Ergebnisanzeige, mindestens RS 0/RS 1 oder RS Sum
- **Hochrechnung auf Maximalzustand mit Betreiberangaben zum Verhältnis zwischen maximaler Kanalsendeleistung und Sendeleistung der RS-Elemente**
- **Summation der Immission aller gemessenen Zellen**

Einstellungen am SRM-3006 und Vorgehensweise für eine codeselektive LTE-Messung

Spektrale Messung

Von den im Resource Grid enthaltenen Signalen (siehe Bild 1) werden bei LTE die Signale bzw. Kanäle P-SS, S-SS, RS und PBCH mit definierter und vom aktuellen Verkehr unabhängiger Leistung abgestrahlt und kommen daher für eine Immissionsmessung mit Hochrechnung auf den höchsten betrieblichen Anlagenzustand prinzipiell in Frage. Die einfachste Art und Weise ist es nun, mit dem SRM-3006 eine spektrale Immissionsmessung durchzuführen, bei der die Immission in einem durch die Auflösungsbandbreite RBW definierten Frequenzbereich um die eingestellte Mittenfrequenz ermittelt wird. Da während des Schwenkvorgangs die Maxhold-Funktion aktiviert ist, werden von allen erfassten Symbolen diejenigen mit der größten Immission zur Anzeige gebracht. Das werden im Falle geringer Verkehrsauslastung nicht die Symbole mit den RS sein, da sich diese nicht kontinuierlich über alle Unterträger erstrecken, sondern nur in jedem sechsten Unterträger vorkommen. Wird die RBW auf den zentralen Teil des Spektrums begrenzt, der von P-SS, S-SS (diese umfassen 62 RE pro Symbol, d. h. 930 kHz) oder PBCH (72 RE pro Symbol, d. h. 1,08 MHz) belegt wird, dann wird als Ergebnis das Maximum von P-SS, S-SS und PBCH angezeigt. An einigen derzeit betriebenen Anlagen kann z. B. die für die RE von P-SS und S-SS eingestellte Leistung (EPRE, Energy Per Resource Element) „geboostet“, d. h. gegenüber der EPRE der anderen RE erhöht sein, so dass die Messung dann den Maximalwert der P-SS / S-SS-Immission liefert.

Die Messung erfolgt am zweckmäßigsten in der Betriebsart „Level Recorder“ des SRM-3006. Diese Betriebsart ist vergleichbar mit dem „Zero Span“ herkömmlicher Spektrumanalysatoren, d. h. der Analysator swept nicht in der Frequenz, sondern ist fest auf die eingestellte Frequenz abgestimmt und erfasst alle Immissionen innerhalb der eingestellten Bandbreite. Die einzustellende Mittenfrequenz entspricht der Mittenfrequenz des zu messenden LTE-Signals (Frequenzdaten für den derzeitigen Ausbauzustand der LTE-Netze in Deutschland sind in Tabelle 1 angegeben.)

Die für die Auflösungsbandbreite (RBW) und Videobandbreite (VBW) einzustellenden Werte sind ausführlich in [KEL 11] untersucht worden. Danach ist für die RBW ein Wert von 800 kHz optimal; dadurch wird der zentrale Teil des Spektrums mit den leistungskonstanten Anteilen P-SS, S-SS und PBCH am besten selektiert. Zugleich wird hier eine VBW von 2,5 kHz empfohlen, die zur geringsten Messunsicherheit führt, jedoch eine rechnerische Korrektur des Ergebnisses nötig macht.

Mit einer Videobandbreite von 2 kHz erreicht man jedoch eine genügende Messunsicherheit und kann auf die rechnerische Korrektur verzichten. Dieser im Vergleich mit herkömmlichen Analysatoren klein erscheinende Wert rührt daher, dass das Videofilter im SRM-3006 eine Signalglättung übernimmt, d. h. die modulationsbedingten kurzzeitigen Leistungsschwankungen des LTE-Signals glättet. Dies ist notwendig, da nach den Grenzwertbestimmungen [ICNIRP 98] eine RMS-Bewertung (Root Mean Square) des Signals vorzunehmen ist. Die korrekten Geräteeinstellungen für die beispielhafte Messung an einer Vodafone LTE-800-Anlage sind in Bild 6 dargestellt und mit roten Kreisen umrandet. (Bemerkung: Der Messbereich MR ist je nach den vorliegenden Signalpegelverhältnissen zu wählen; die 141 dB μ V/m aus Bild 6 sind nicht zwingend vorgegeben.)

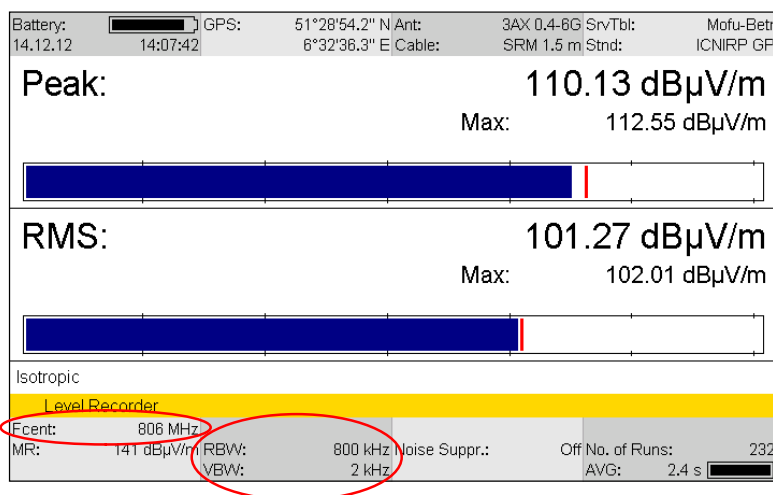


Bild 6: Beispiel einer LTE-Messung in der Betriebsart „Level Recorder“

Für die weitere Auswertung ist der in der Rubrik „Peak“ ermittelte „Max“-Wert heranzuziehen, in obigem Beispiel also 112,55 dB μ V/m. Die RMS-Anzeige liefert hingegen einen Mittelwert der Leistung während eines längeren Beobachtungszeitraums (hier 2,4 s), der bei nicht vorliegender maximaler Verkehrsauslastung der Station immer kleiner ausfällt als der maximale Wert im Beobachtungszeitraum.

Da mit dieser Art der Messung nur der innere (verkehrsabhängige) Teil des Spektrums gemessen wird, muss als nächster Schritt der Messwert auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung extrapoliert werden, da es in der Praxis ja möglich ist, dass alle Resource Elemente des Resource Grids mit Daten belegt sind. Dies erfolgt durch einen Korrekturfaktor K, der sich aus dem Verhältnis von Signalbandbreite und Auflösungsbandbreite (bzw. äquivalenter Rauschbandbreite) ergibt. Das Bandbreitenverhältnis lässt sich bei LTE auch als Verhältnis der

Gesamtzahl der Frequenzträger und der Zahl der gemessenen Träger ausdrücken:

Bei einer Auflösungsbandbreite von 800 kHz beträgt die äquivalente Rauschbandbreite 768 kHz, d. h. bei dem Trägerabstand von 15 kHz errechnet sich die Anzahl n der erfassten Träger zu

$$n = 768/15 - 1 = 50,2 \quad (\text{Gl. 5})$$

Der Subtrahend (-1) berücksichtigt, dass der Träger 0 nie benutzt wird.

Aus der Zahl der erfassten Träger n und der Gesamtzahl der Träger N kann man nun einfach den Korrekturfaktor K errechnen. Für eine LTE-Kanalbandbreite von 10 MHz mit 600 Trägern bzw. 20 MHz mit 1200 Trägern ergibt sich

$$K = 10 \lg(N/n) = 10 \lg(600 / 50,2) = 10,8 \text{ dB} \quad (\text{Gl. 6a})$$

bzw.

$$K = 10 \lg(N/n) = 10 \lg(1200 / 50,2) = 13,8 \text{ dB} \quad (\text{Gl. 6b})$$

Die Feldstärke bei höchster betrieblicher Auslastung berechnet sich dann zu:

$$E_{\text{max}} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = E_{\text{gemessen}} [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + K [\text{dB}] \quad (\text{Gl. 7})$$

Für die Messung nach Bild 6 (LTE-800 mit 10 MHz Kanalbandbreite) würde sich also als maximale Immission ein Wert von $123,4 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m} = 1,48 \text{ V}/\text{m}$ ergeben.

Mit dieser Vorgehensweise bei der Messung bzw. Hochrechnung kann es jedoch dann zu einer Überschätzung der Immission bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung kommen, wenn die gemessenen Signale mit gegenüber der mittleren Signalleistung erhöhter Leistung von der Basisstation abgesendet werden, also um einen entsprechenden Faktor „geboostet“ sind. Mit der oben beschriebenen Hochrechnung würde man so tun, als ob *alle* Kanäle und Signale mit derselben „geboosteten“ Leistung pro Resource Element EPRE gesendet würden wie das gemessene Signal. Obwohl diese Überschätzung einen zusätzlichen Risikopuffer in der messtechnische Bewertung von LTE-Anlagen darstellt, kann sie prinzipiell korrigiert werden, indem der oben beschriebene Hochrechnungsfaktor um den Boostfaktor der gemessenen Signale verringert wird. Des weiteren kann eine Korrektur notwendig werden, wenn die gemessenen Signalisierungen nicht gleichzeitig von beiden Antennenebenen abgestrahlt werden.

Die Information, ob und welche Signale bzw. Kanäle wie stark „geboostet“ sind, muss vom Netzbetreiber erfragt werden. Es muss allerdings angemerkt werden, dass die Information über die EPRE-Werte der einzelnen Signale und Kanäle von den Betreibern derzeit sehr schwierig bzw. nur im Ausnahmefall zu beschaffen ist.

Die korrekten Einstellungen am SRM-3006 für eine frequenzselektive LTE-Messung sind nebenstehend zusammengefasst.

- *Betriebsart: Level Recorder*
- *Fcent: Mittenfrequenz des zu messenden LTE-Signals, siehe Tabelle 1*
- *RBW 800 kHz*
- *VBW 2 kHz*
- *Ablezen des Max-Wertes in der Rubrik „Peak“*
- *Hochrechnung auf Maximalzustand mit 10,8 dB bzw. 13,8 dB für 10 MHz bzw. 20 MHz LTE-Kanalbandbreite*
- *ggf. Korrektur, sofern die gemessenen Signale „geboostet“ sind*

Einstellungen am SRM-3006 und Vorgehensweise für eine frequenzselektive LTE-Messung

Abkürzungen

CBW	Channel Bandwidth	RBW	Resolution Bandwidth
CP	Cyclic Prefix	RE	Resource Element
EPRE	Energy Per Resource Element	RMS	Root Mean Square, Effektivwert
MIMO	Multiple Input Multiple Output	RS	Reference Signal
PBCH	Physical Broadcast Channel	S-SS	Secondary Synchronization Signal
P-SS	Primary Synchronization Signal	TBW	Transmission Bandwidth
		VBW	Video Bandwidth

Literatur

- [BOO] **R. Booher**, Modulation Fundamentals; Introduction to 3GPP LTE, RF Lecture Series, Verigy.
- [BOR 13] **Chr. Bornkessel, M. Schubert und M. Wuschek**, *Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, (2013).
- [ETSI 136.211] **ETSI TS 136 211 V8.8.0**, LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (3GPP TS 36.211 version 8.8.0 Release 8), 2009-10.
- [ICNIRP 98] **ICNIRP Guidelines**, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, Health Physics, vol. 74 no. 4, S. 494-522, (1998).
- [KEL 11] **H. Keller**, *Bewertung rauschartiger Impulse moderner Kommunikationssysteme*, NIR 2011 43. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., 2011, S. 209-223.

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7
72793 Pfullingen, Germany
Phone: +49 7121-97 32-0
Fax: +49 7121-97 32-790
E-Mail: support@narda-sts.de
www.narda-sts.de

Narda Safety Test Solutions
435 Moreland Road
Hauppauge, NY 11788, USA
Phone: +1 631 231-1700
Fax: +1 631 231-1711
E-Mail: NardaSTS@L-3COM.com
www.narda-sts.us

Narda Safety Test Solutions Srl
Via Leonardo da Vinci, 21/23
20090 Segrate (Milano) - Italy
Phone: +39 02 269987 1
Fax: +39 02 269987 00
E-mail: support@narda-sts.it
www.narda-sts.it

© Namen und Logo sind eingetragene Markenzeichen der Narda Safety Test Solutions GmbH und L-3 Communications Holdings, Inc. – Handelsnamen sind Markenzeichen der Eigentümer.