narda Safety Test Solutions

Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen

Teil 1: Grundlagen

Die vorliegende Application Note befasst sich mit der praktischen Durchführung von Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen mit Hilfe des Selective Radiation Meter SRM-3006. Allgemeine Hinweise zur Durchführung von Immissionsmessungen in der Umgebung von ortsfesten Sendeanlagen finden sich in der Application Note [WUS 12] von Narda Safety Test Solutions und werden hier nur kurz angesprochen. Das vorliegende Dokument fokussiert auf die speziell für LTE geeigneten Messverfahren des SRM-3006, die vorzunehmenden Geräteeinstellungen am SRM-3006 und auf die Auswertung der Messergebnisse.

Inhalt

Die neue Mobilfunktechnik LTE ..... Seite 2
Grundsätzliche Messmethodik ..... Seite 3
Signalstruktur von LTE-Basisstationssignalen ..... Seite 5
Abkürzungen ..... Seite 8
Literatur ..... Seite 9

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: info@narda-sts.com
www.narda-sts.com

Die neue Mobilfunktechnik LTE

Mit LTE (Long Term Evolution) wird eine neue Mobilfunktechnik bezeichnet, die sich derzeit in vielen Ländern weltweit im Rollout befindet. LTE zeichnet sich gegenüber den Vorgängertechnologien GSM und UMTS durch höhere Datenraten, effektivere Nutzung des Frequenzspektrums und geringere Latenzzeiten aus.

LTE kann prinzipiell in verschiedenen Frequenzbereichen von etwa 700 MHz bis 2700 MHz betrieben werden. Meistens werden die Frequenzen von der zuständigen Regulierungsbehörde versteigert. In Deutschland beispielsweise umfasste die Versteigerung im Jahre 2010 Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz (Bild 1); tatsächlich werden von den deutschen Mobilfunkbetreibern derzeit LTE-Netze in den Frequenzbereichen 800 MHz (LTE-800, „Digitale Dividende“) und 1800 MHz (LTE-1800) aufgebaut. Die LTE-Kanalbandbreiten sind mit 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz und 20 MHz spezifiziert; für die derzeit in Deutschland betriebenen Netze kommen vor allem 10 MHz (LTE-800) und 20 MHz (LTE-1800) zum Einsatz.

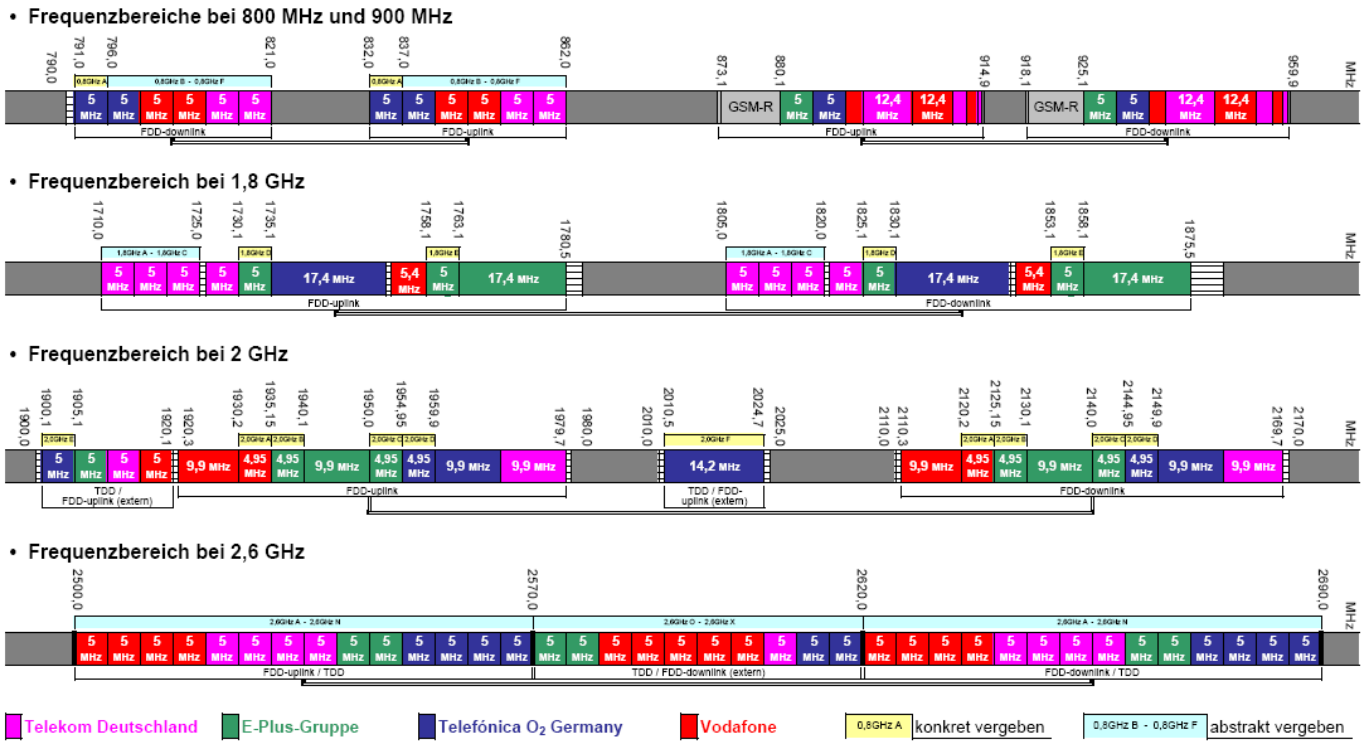

Bild 1: Beispiel LTE-Frequenzen in Deutschland. Frequenzspektrum in den Bereichen 800 MHz, 900 MHz, 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz mit „Zuteilung der Frequenzen für den drahtlosen Netzzugang zum Angebot von Telekommunikationsdiensten“ (gelbe und hellblaue Felder) [BNETZA 10].

Häufig werden die Netze im FDD-Modus betrieben (Frequency Division Duplex), d. h. Uplink und Downlink erfolgen auf unterschiedlichen Trägerfrequenzen.

Die typische Sendeleistung einer LTE-Basisstation beträgt etwa 20 bis 50 W pro Kanal und ist damit vergleichbar zur Kanalsendeleistung von etablierten GSM- und UMTS-Stationen. Es ist allerdings zu beachten, dass bei LTE-Basisstationen das Sendesignal üblicherweise über zwei Kanäle gleichzeitig abgestrahlt wird (Ansteuerung der +45°- und -45°-Polarisationsebenen einer kreuzpolarisierten Basisstationsantenne, auch als MIMO-Technologie (Multiple Input Multiple Output) bezeichnet). Dies hat Konsequenzen für die Immissionsmessung, wie später noch erläutert wird.

Grundsätzliche Messmethodik

LTE-Basisstationen sind ortsfeste Sendefunkanlagen, die gewerblichen Zwecken dienen und üblicherweise mit Sendeleistungen von 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung) oder mehr betrieben werden. Damit fallen sie unter Immissionsschutzregeln wie die deutsche Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) [26. BImSchV].

Diese Verordnung sowie die erläuternden Durchführungshinweise des Länderausschusses für Immissionsschutz [LAI 04] definieren, dass die Immissionsmessungen *„am Einwirkungsort mit der jeweils stärksten Exposition“* durchzuführen sind und eine Beurteilung der Mess-ergebnisse *„auf der Basis der gemessenen maximalen Werte“* zu erfolgen hat. Außerdem *„sind die Messungen bei der höchsten betrieblichen Anlagenauslastung durchzuführen; anderenfalls sind die Werte entsprechend hochzurechnen“*.

Diese Vorgaben legen fest, dass für eine gesetzeskonforme Messung nicht die Momentanimmission an beliebigen Orten heranzuziehen ist, sondern eine *örtliche* und *zeitliche* Maximierung der Immission durchgeführt werden muss.

Die *örtliche* Maximierung kann beispielsweise mit der so genannten Schwenkmethode erfolgen: Das Messvolumen wird mit einer hand-geführten Messantenne abgetastet; bei richtenden Antennen sind während des Schwenkvorgangs auch die Vorzugsrichtung und die

Polarisationsrichtung der Messantenne zu variieren. Während des Schwenkvorgangs wird die Immission mit der *Maxhold*-Funktion des Messgerätes kontinuierlich erfasst; als Ergebnis der Messung erhält man den maximalen Immissionswert im durchschwenkten Volumen. Eine örtliche Maximierung ist deswegen notwendig, da die Immission vor allem in Innenräumen durch Interferenzen kleinräumig stark variieren kann [BOR 06].

Die Schwenkmethode hat sich nicht nur in Deutschland zur Bestimmung der maximalen Immissionen innerhalb eines Raumbereichs als Standardmethode etabliert und wird auch vom LAI empfohlen [LAI 04]. Auf europäischer Ebene ist sie in der Norm EN 50492 *„Basic Standard for the In-Situ Measurement of Electromagnetic Field Strength related to Human Exposure in the Vicinity of Base Stations“* [EN 50492] als alternatives Messverfahren explizit erwähnt, wobei die EN 50492 für Messungen, bei denen die *über das Körpervolumen gemittelte* Immission als Beurteilungsgröße herangezogen werden soll, auch eine Erfassung an einem Raster aus drei oder sechs Raumpunkten vorsieht. Wie bereits in [WUS 12] beschrieben, ist in erster Linie nach den relevanten Vorschriften bzw. der Messaufgabenstellung zu entscheiden, welche Methode der örtlichen Messwertaufnahme anzuwenden ist. Keinesfalls zu empfehlen ist jedoch die immer noch weit verbreitete Vorgehensweise, bei der per Stativ an einem fixen Raumpunkt die Immission gemessen wird, da ein einzelner Raumpunkt weder für die maximale noch für eine durchschnittliche Immission im zu untersuchenden Raumbereich repräsentativ ist.

Die *zeitliche* Maximierung basiert im Regelfall auf einer Messung der Immission von bestimmten Signalisierungen, die von der Basisstation permanent mit konstanter, definierter und von der Verkehrsauslastung *unabhängiger* Sendeleistung abgestrahlt werden. Mittels des Verhältnisses von maximal möglicher (bei der Regulierungsbehörde beantragter) Sendeleistung der Basisstation zur Leistung des gemessenen Signalisierungskanals kann dann zuverlässig auf die Immission bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet werden. Welche Signalisierungen sich bei LTE für eine solche Messung eignen und wie die Messung konkret durchgeführt wird, ist Gegenstand dieser Application Note und wird in den folgenden Abschnitten ausführlich gezeigt.

Als Messantennen sind grundsätzlich sowohl dreiachsige Antennen (isotrope Antennen) als auch einachsige Antennen (z. B. logarithmisch-periodische Antennen) geeignet. Narda bietet für LTE-Messungen mehrere drei- und einachsigen Messantennen für elektrische Felder an (siehe Tabelle 1). Die Verwendung dieser Antennen hat den Vorteil,

Bild 2: LTE-Messung mit dem SRM-3006 und einer isotropen Antenne.

dass die jeweiligen Antennenfaktoren in einem EEPROPM gespeichert sind und beim Anschluss der Antenne an das Grundgerät automatisch eingelesen und angewendet werden.

Bezeichnung	Anzahl der Achsen	Frequenzbereich	Messdynamik (typ.) in Verbindung mit dem SRM-3006
3501/03	dreiachsig (isotrop)	27 MHz – 3 GHz	0,2 mV/m – 200 V/m
3502/01	dreiachsig (isotrop)	420 MHz – 6 GHz	0,14 mV/m – 160 V/m
3531/01	einachsig	27 MHz – 3 GHz	60 µV/m – 80 V/m

Tabelle 1: Übersicht über die Messantennen von Narda für LTE-Messungen mit dem SRM-3006. Zur Definition der Messdynamik siehe Datenblatt der Firma Narda.

Signalstruktur von LTE-Basisstationssignalen

Für ein besseres Verständnis der im zweiten Teil erläuterten verschiedenen Messverfahren ist es sinnvoll, sich zuerst mit der grundlegenden Signalstruktur von LTE-Basisstationssignalen vertraut zu machen. Die folgenden Ausführungen fokussieren auf solche LTE-Signale, wie sie bei den derzeit in Deutschland verfügbaren Basisstationen Verwendung finden (d. h. FDD-Signale mit normalem zyklischem Präfix CP).

Die kleinste zeitliche Einheit eines LTE-Signals hat eine Zeitdauer von etwa 71 µs und wird als „Symbol“ bezeichnet. 7 aufeinander folgende Symbole bilden einen „Slot“ (0,5 ms) und 20 aufeinanderfolgende Slots einen „LTE-Frame“ (10 ms). Im Frequenzbereich besteht das LTE-Signal aufgrund des verwendeten Modulationsverfahrens OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) aus vielen einzelnen Unterträgern mit einem Trägerabstand von 15 kHz. Die kleinste Zeit-Frequenz-Einheit, d. h. ein Unterträger in einem Symbol (15 kHz x 71 µs), wird als Resource Element bezeichnet (RE).

12 aufeinander folgende Unterträger und 7 aufeinander folgende Symbole bilden einen Resource Block (RB), der 84 RE umfasst und 180 kHz im Frequenzbereich bzw. 0,5 ms im Zeitbereich belegt.

Wegen Mehrwegeausbreitung erreichen die Symbole den Empfänger mit unterschiedlicher Verzögerung. Um eine zeitliche Überlagerung nicht zusammen gehörender Symbole zu vermeiden (Intersymbol Interference), verlängert man auf der Sendeseite jedes Symbol um ein Präfix, das der Empfänger wieder eliminiert.
Das normale Präfix genügt für kleinere Funkzellen, das erweiterte (extended) nutzen Netzbetreiber nur für räumlich weit ausgedehnte Funkzellen.

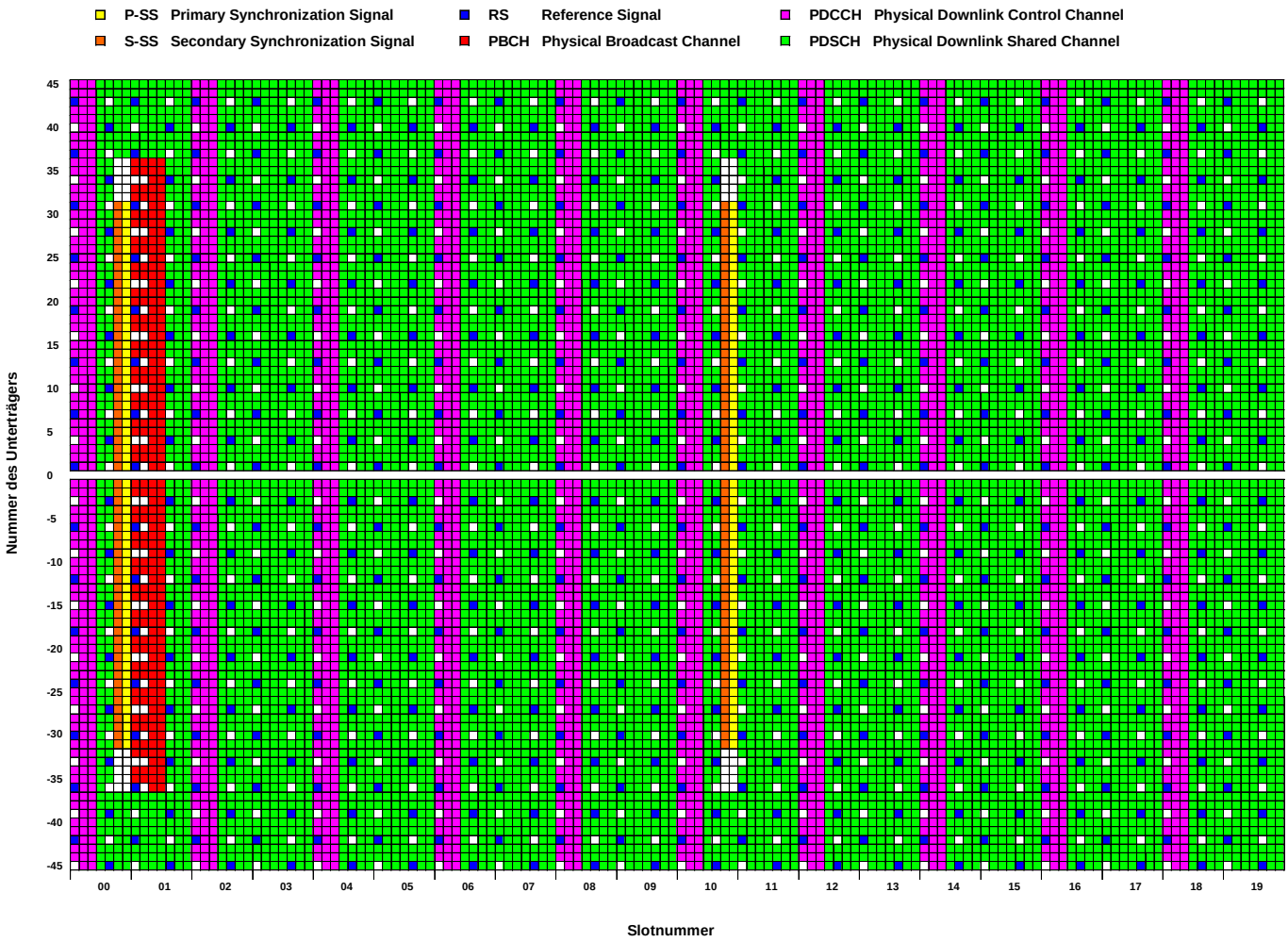

Bild 3: Resource Grid eines LTE-Basisstations-signals einer Antennenebene für 2-Antennen-MIMO, nach [BOO]

Die Struktur des beschriebenen LTE-Signals ist in Bild 3 dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit aufgetragen (1 Frame, d. h. 20 Slots) und auf der y-Achse die Frequenz (hier die Unterträger von -45 bis +45 relativ zur Mittenfrequenz des Signals). Jedes einzelne Kästchen stellt ein RE dar. Eine solche Darstellung wird als „Resource Grid“ bezeichnet. Die RE werden von verschiedenen Signalen und Kanälen belegt, deren Lage sich im Resource Grid aus Bild 3 ablesen lässt. Für die Beschreibung und Funktion der physikalischen Kanäle und Signale sei z. B. auf [BOR 13] verwiesen.

Im Resource Grid erkennt man sich regelmäßig wiederholende Strukturen, z. B. die der Synchronisierungssignale P-SS und S-SS (2mal pro Frame, d. h. alle 5 ms), des PBCH (1mal pro Frame, d. h. alle 10 ms) oder auch die des PDCCH (10mal pro Frame, d. h. jede ms). Bedeutsam für die später erläuterte codeselektive Messung sind

insbesondere die blauen RE, die regelmäßig über das Gesamtsignal verteilt sind. Es handelt sich hierbei um das Reference Signal, das u. a. für die Schätzung der Qualität des Funkkanals verwendet wird. Die grün gekennzeichneten RE dienen dem Transport von Nutzerdaten. Sofern die LTE-Basisstation keinen Verkehr abwickelt, d. h. nur Signalisierungssignale abstrahlt, sind die grünen RE in der Regel leer (d. h. die betreffenden Träger sind abgeschaltet). Das führt dazu, dass die Verkehrsauslastung die Struktur des Basisstationssignals beeinflusst: Sofern kein oder wenig Verkehr abgewickelt wird, wird das Signal primär durch die periodisch auftretenden Signalisierungen dominiert; bei zunehmendem Verkehr werden die „Lücken“ zwischen den Signalisierungssignalen mit Verkehr ausgefüllt, bis sich im Extremfall maximalen Verkehrs eine einheitliche Linie ergibt (hier wird der Einfachheit halber angenommen, dass alle RE mit derselben Leistung abgestrahlt werden). Beide Extremfälle (kein Verkehr / maximaler Verkehr) sind im Bild 4 dargestellt.

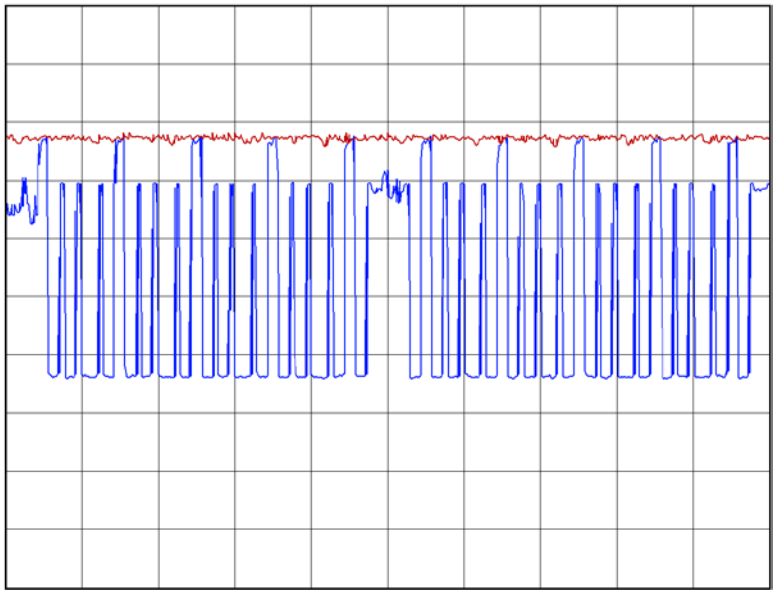

Bild 4: LTE FDD-Signal im Zeitbereich ohne Verkehr (blau) und mit maximalem Verkehr (rot) (aus [BOR 13])

Einstellungen:
Mittenfrequenz 806 MHz
RBW 10 MHz, VBW 10 MHz
x-Skala 1 ms/div.
y-Skala 10 dB/div.

Teil 2 dieser Application Note behandelt
– die codeselektive Messung und
– die spektrale Messung
mit praktischen Beispielen.

Name des Dokuments:
AN_HF_1064_D_LTE-Messmethoden

Abkürzungen

GSM	Global System for Mobile Communications, Mobilfunkstandard der 2. Generation
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Mobilfunkstandard der 3. Generation
LTE	Long Term Evolution, Mobilfunkstandard der 4. Generation
CP	Cyclic Prefix
FDD	Frequency Division Duplex
MIMO	Multiple Input Multiple Output
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Modulationsverfahren bei LTE
PBCH	Physical Broadcast Channel
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
P-SS	Primary Synchronization Signal
RB	Resource Block
RE	Resource Element
RS	Reference Signal
S-SS	Secondary Synchronization Signal
TDD	Time Domain Duplex

Literatur

[26. BImSchV] **26. BImSchV,** *Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.

[BNETZA 10] **Bundesnetzagentur,** *Übersicht über das Frequenzspektrum in den Bereichen 800 MHz, 900 MHz, 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz,* http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Presse/Pressemitteilungen/2010/100830VerlosungGraphikFrequenzspektrum_pdf.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt besucht am 13.12.2012.

[BOO] R. Booher, Modulation Fundamentals; Introduction to 3GPP LTE, RF Lecture Series, Verigy.

[BOR 06] **Chr. Bornkessel, M. Schubert, M. Wuschek, P. Schmidt,** *Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, (2006).

[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).

[EN 50492] **EN 50492** (DIN VDE 0848-492), *Basic Standard for the In-Situ Measurement of Electromagnetic Field Strength related to Human Exposure in the Vicinity of Base Stations*, CENELEC Standard, September 2008.

[LAI 04] **Länderausschuss für Immissionsschutz,** *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung)*, Fassung vom 26.03.2004, www.lai-immissionsschutz.de, (2004).

[WUS 12] **M. Wuschek,** *Messungen in der Umgebung von ortsfesten Funksendeanlagen*, Application Note Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, (2012).

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7
72793 Pfullingen, Germany
Phone +49 7121 97 32 0
info@narda-sts.com
www.narda-sts.com

Narda Safety Test Solutions
North America Representative Office
435 Moreland Road
Hauppauge, NY11788, USA
Phone +1 631 231 1700
info@narda-sts.com

Narda Safety Test Solutions S.r.l.
Via Rimini, 22
20142 Milano, Italy
Phone +39 0258188 1
nardait.support@narda-sts.it

Narda Safety Test Solutions GmbH
Beijing Representative Office
Xiyuan Hotel, No. 1 Sanlihe Road, Haidian
100044 Beijing, China
Phone +86 10 6830 5870
support@narda-sts.cn

® Namen und Logo sind eingetragene Markenzeichen der Narda Safety Test Solutions GmbH – Handelsnamen sind Markenzeichen der Eigentümer.