

Einfluss der Dekodierbandbreite auf die Genauigkeit von LTE-Immissionsmessungen

Dr.-Ing. Christian Bornkessel, TU Ilmenau, christian.bornkessel@tu-ilmenau.de;
M.Sc. Muhammad Ehtisham Asghar, TU Ilmenau, ehtisham.asghar@tu-ilmenau.de;
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Matthias A. Hein, TU Ilmenau, matthias.hein@tu-ilmenau.de

1 Einleitung

Immissionsmessungen im Umfeld von Mobilfunkanlagen haben sich als effizientes Mittel zur Risikokommunikation bei der Akzeptanz dieser Anlagen für besorgte Teile der Bevölkerung erwiesen. Für die Mobilfunkstandards GSM, UMTS und LTE wurden in den letzten Jahren Funkdienst-spezifische Messverfahren entwickelt, die eine normativ geforderte Hochrechnung der gemessenen Werte auf die maximale Anlagenauslastung ermöglichen. Stand der Technik bei LTE-Anlagen ist das Code-selektive Messverfahren [1], mit dem die zellspezifisch kodierten Steuersignale RS0 und RS1 (mit $\pm 45^\circ$ Polarisation abgestrahlte Referenzsignale der Basisstationsantennen) sowie die primären und sekundären Synchronisierungssignale P-SS und S-SS gemessen werden können.

Eine große Rolle bei Code-selektiven LTE-Messungen spielt die Wahl der Kanalbandbreite, innerhalb der die über das gesamte Frequenzband verteilten RS-Signale dekodiert werden; diese kann zwischen 1,4 MHz und 20 MHz variieren. Da der Dekodiervorgang sehr ressourcenintensiv ist, kann eine Messung in Abhängigkeit von Messgerät und Antenne (z.B. dreiachsige oder einachsige Messantenne) über die gesamte Bandbreite eines 20 MHz LTE-Signals bis zu mehrere Sekunden dauern. Diese lange Messzeit schließt jedoch die Verwendung der bei Immissionsmessungen üblicherweise verwendeten „Schwenkmethode“ aus.

In vorliegendem Beitrag wird deswegen am Beispiel des Messgerätes Narda SRM-3006 untersucht, wie klein die LTE-Dekodierbandbreite gewählt werden darf, ohne die Zuverlässigkeit der Messergebnisse unzulässig einzuschränken.

2 Herangehensweise

2.1 Messgerät und Code-selektives Messverfahren

Als praxistaugliches Messgerät für Immissionsmessungen hat sich z.B. das Narda SRM-3006 [2] etabliert, das für LTE und UMTS mit einer Code-selektiven Messoption ausgestattet ist. Das SRM-3006 ist ein tragbares und feldtaugliches frequenzselektives Feldstärkemessgerät, das den Frequenzbereich von 9 kHz bis 6 GHz umfasst und sowohl mit einachsigen, als auch mit dreiachsigen Messantennen betrieben werden kann. Bei den dreiachsigen Antennen übernimmt ein geräteinternes Steuersignal die automatische Umschaltung der orthogonalen Messachsen der Antenne.

Bei der Code-selektiven LTE-Messung werden aus dem LTE-Signal der Basisstation die zellspezifisch kodierten Steuersignale RS0 und RS1 sowie die primären und sekundären Synchronisierungssignale P-SS und S-SS gemessen. Dabei sind für die Auswertung insbesondere die RS-Elemente relevant, die zeitlich alle drei bis vier Symbole in jedem sechsten Unterträger gesendet werden; die Zeitdauer eines Symbols beträgt etwa 71 μ s, der Trägerabstand beträgt 15 kHz. Die Lage der RS-Elemente im LTE-Signal ist zusammen mit der Lage der anderen Signale und Kanäle in Bild 2.1 dargestellt.

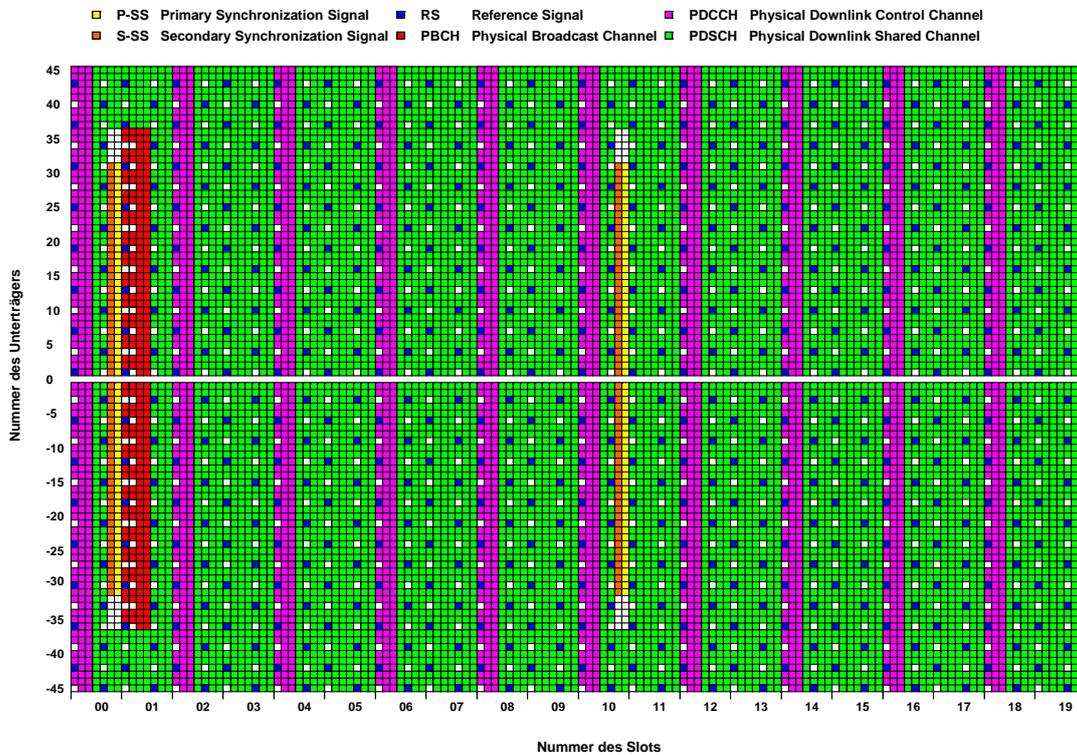


Bild 2.1: Aufbau des Resource Grid als Frequenz-Zeit-Darstellung eines FDD LTE 2x2-MIMO Signals. Dargestellt ist ein 10 ms langer Rahmen (Frame), der auf der Zeitachse aus 20 Zeitschlitzen (Slots) mit je 0,5 ms Länge besteht. Jeder Slot besteht aus 7 Symbolen. Das erste der sieben Symbole hat eine Länge von 71,875 μ s; die anderen sechs Symbole sind jeweils 71,354 μ s lang. Auf der Frequenzachse sind ± 45 Unterträger mit einem Abstand von 15 kHz dargestellt; der Mittenfrequenzträger ist ausgetastet (insgesamt 1,365 MHz). Ein Resource Element besteht aus einem Unterträger und einem Symbol. Die Lage der Signale und Kanäle im Resource Grid ist farbig markiert.

Wie aus Bild 2.1 ersichtlich ist, verteilen sich die RS-Elemente über die gesamte Signalbandbreite, die bei LTE zwischen 1,08 MHz für einen 1,4 MHz LTE-Kanal sowie 18 MHz für einen 20 MHz LTE-Kanal betragen kann. Durch diese gleichmäßige Verteilung über den gesamten Frequenzbereich werden sie zur Schätzung der Qualität des im Allgemeinen frequenzselektiven Kanals zwischen Basisstation und Endgerät eingesetzt. Das SRM-3006 gibt als Ergebnis der Code-selektiven RS-Messung den über alle dekodierten RS-Elemente leistungsbezogen gemittelten Wert pro RS-Element an.

Neben der Dekodierung der RS-Signale bietet das SRM-3006 auch die Möglichkeit der Dekodierung der primären und sekundären Synchronisierungssignale. Deren Messung hat aber aufgrund der von Systemtechnik und deren Konfigurierung abhängenden unterschiedlichen Verteilung ihrer Abstrahlung über die Antennen (derzeit in der Regel zwei

Antennen mit $\pm 45^\circ$ Polarisierung pro Zelle) nur orientierende Wirkung und sollte nicht für die Auswertung von Immissionsmessungen verwendet werden [3].

Bei LTE kann am Gerät gewählt werden, über welche Bandbreite die über das gesamte Frequenzband verteilten RS-Elemente dekodiert werden sollen. Da der Dekodiervorgang sehr ressourcenintensiv ist, dauert eine Messung mit einer dreiachsigen Messantenne über die gesamte Bandbreite eines 20 MHz LTE-Signals etwa 7 Sekunden und reduziert sich bei einer Dekodierbandbreite von 1,4 MHz um etwa den Faktor 10 auf 0,8 Sekunden. Eine Aktualisierungsrate der Messwerte von $1/7 \text{ s}^{-1}$ ist bei der Anwendung der Schwenkmethode zur Maximumsuche, bei der die Messantenne mit aktivierter Max-hold Funktion des Messgerätes durch das Messvolumen geschwenkt wird, jedoch nicht mehr praktikabel. Es wird deswegen im Folgenden untersucht, wie klein die Dekodierbandbreite gewählt werden darf, ohne die Zuverlässigkeit der Messergebnisse unzulässig einzuschränken; als Kriterium wird hier die für Immissionsmessungen im Hochfrequenzbereich typische Messunsicherheit von 3 dB herangezogen.

2.2 Auswahl der Messpunkte

Die Untersuchung der Fragestellung erfolgte an mehreren nach systematischen Gesichtspunkten ausgewählten Messpunkten in der Umgebung einer LTE-1800 Basisstation. Die Messpunkte unterscheiden sich hinsichtlich der Lage (innerhalb bzw. außerhalb von Gebäuden; d.h. indoor bzw. outdoor) sowie der Ausbreitungsbedingungen (mit/ohne direkte Sichtverbindung zur Mobilfunkanlage, d.h. LOS bzw. NLOS). Expositionsmessungen werden üblicherweise in unmittelbarer Nähe von Basisstationen durchgeführt. Deswegen wurden die vier Messpunkte im Abstand zwischen 70 m und 360 m zur Anlage ausgewählt. Bild 2.2 zeigt die Lage der Basisstation und der Messpunkte. Die Basisstation befindet sich auf einem Gebäude der TU Ilmenau, die Innenraummesspunkte in zwei Wohnheimen in oberen Stockwerken und die Außenmesspunkte ebenerdig.

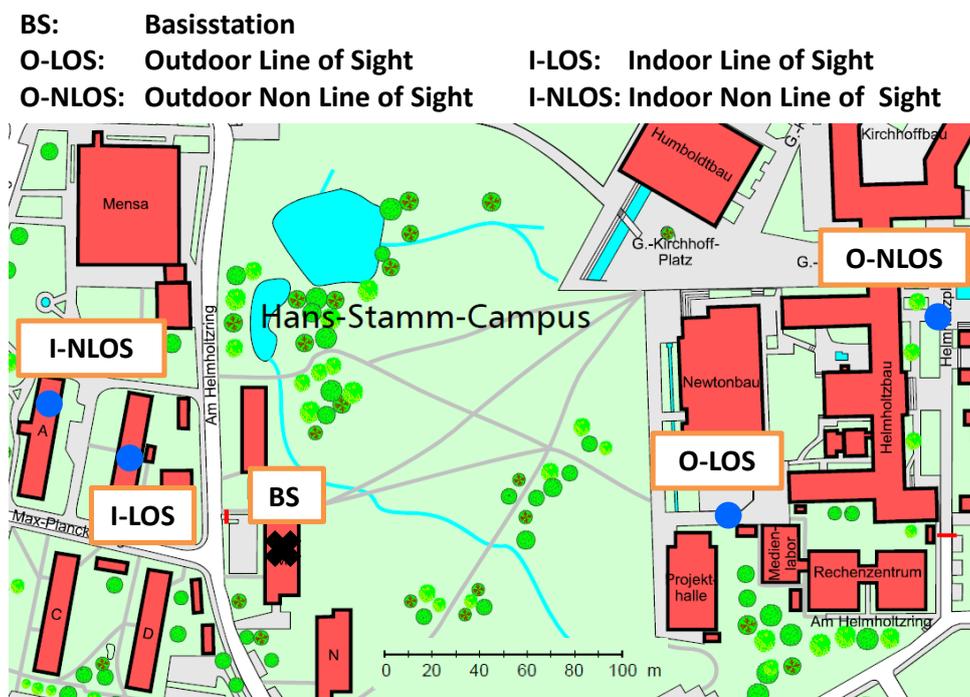


Bild 2.2: Lage der Basisstation und der Messpunkte für die Untersuchungen

2.3 Durchführung der Messungen

An jedem Messpunkt wurde die Immission der RS-Elemente bei variierender Dekodierbandbreite (1,4, 3, 5, 10, 15 und 20 MHz) bei zuerst *stationärem* Messgerät Code-selektiv dreimal hintereinander gemessen. Pro Messung wurden dabei 10 Messdurchläufe abgewartet. Ausgewertet wurde der Maximalwert des RS-Signals während der 10 Messdurchläufe.

Für die Auswertungen wurde nur der stärkste Sektor der dreisektorigen Basisstation berücksichtigt. Außerdem wurde einheitlich an allen Messpunkten nur der Feldstärkepegel von RS0 ausgewertet.

Darüber hinaus wurde an jedem Messpunkt auch der Frequenzverlauf des LTE-Spektrums aufgezeichnet, um eventuell vorhandene Abhängigkeiten des RS-Pegels von der Dekodierbandbreite näher untersuchen zu können.

3 Messergebnisse

3.1 Abhängigkeit der Messergebnisse von der Kanalbandbreite

Bild 3.1 zeigt die Ergebnisse der drei Einzelmessungen sowie den über die drei Messungen gemittelten Feldstärkepegel von RS0 in Abhängigkeit der Dekodierbandbreite für alle vier untersuchten grundlegenden Szenarien.

Im Szenario I-LOS ist sowohl die Spannbreite zwischen den drei Einzelmessungen bei einer Bandbreite, als auch die Schwankung der Ergebnisse in Abhängigkeit der Dekodierbandbreite mit jeweils weniger als 1 dB (Max-Min) sehr gering. Dieselben Ergebnisse wurden für RS1 festgestellt (hier nicht gezeigt). Hieraus kann gefolgert werden, dass eine Messung mit der kleinstmöglichen Dekodierbandbreite von 1,4 MHz gleichwertige Ergebnisse wie die Messung mit höheren Dekodierbandbreiten liefert. Die Ursache für die Unabhängigkeit von der Dekodierbandbreite ist aus dem Frequenzspektrum ersichtlich: Die Variation der Amplitude des Signals über den gesamten Frequenzbereich ist sehr gering, das „Dach“ des Amplitudenverlaufs über der Frequenz ist vergleichsweise eben. Da die RS-Elemente über die gesamte Bandbreite verteilt sind, ergibt eine Einbeziehung aller RS-Elemente über die gesamte Signalbandbreite von 18 MHz in die Berechnung der mittleren Leistung eines RS-Elementes dasselbe Ergebnis wie die Einbeziehung der RS-Elemente nur über die inneren 1,08 MHz um die Mittenfrequenz. Die Lage des Messpunktes, der sich in etwa auf gleicher Höhe wie die Basisstation befand, ist auch die Ursache dafür, dass die Spannbreite der drei Einzelmessungen sehr gering ausfällt, da keine relevanten zeitlichen Änderungen der Ausbreitungsbedingungen zwischen Basisstation und Messgerät vorliegen.

Der Messpunkt I-NLOS zeigt ein grundlegend anderes Verhalten. Zwar ist auch hier die Spannbreite zwischen jeweils drei Einzelmessungen mit etwa 0,5 dB aufgrund der Lage des Messpunktes in einem Obergeschoss sehr gering und liegt sogar noch unterhalb der Spannbreite von Messpunkt I-LOS. Allerdings ist ein gleichmäßiger Pegelabfall mit zunehmender Dekodierbandbreite von etwa 3 dB festzustellen. Ein deutlicher „Sprung“ von etwa 2 dB ist insbesondere zwischen 1,4 MHz und 3 MHz zu verzeichnen. Auch hier erklärt ein Blick auf das zugehörige Frequenzspektrum die Ursache:

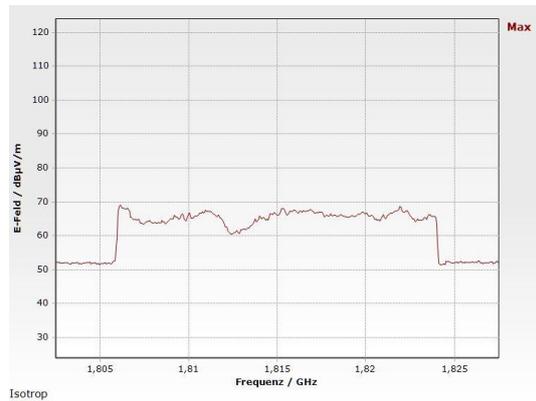
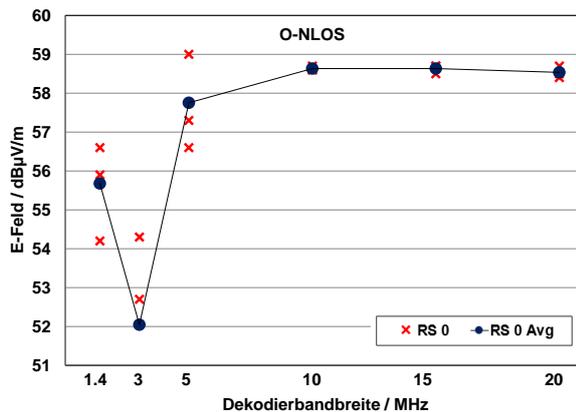
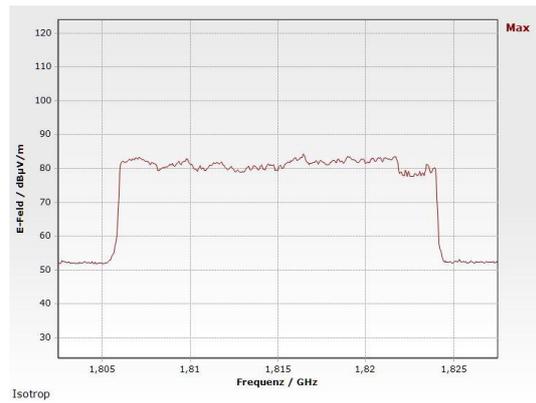
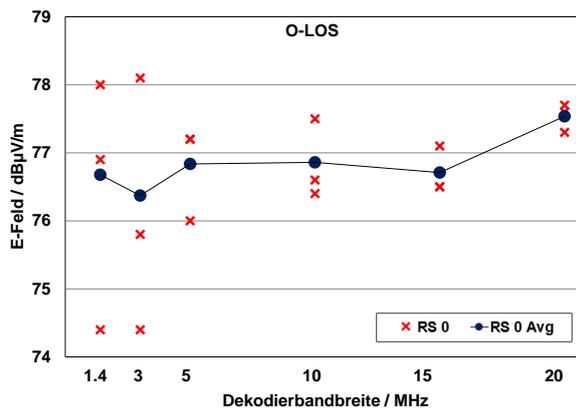
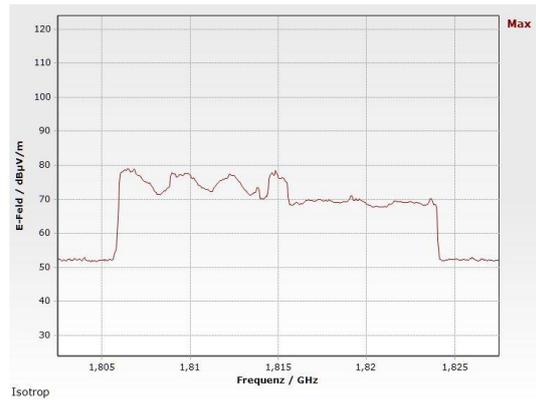
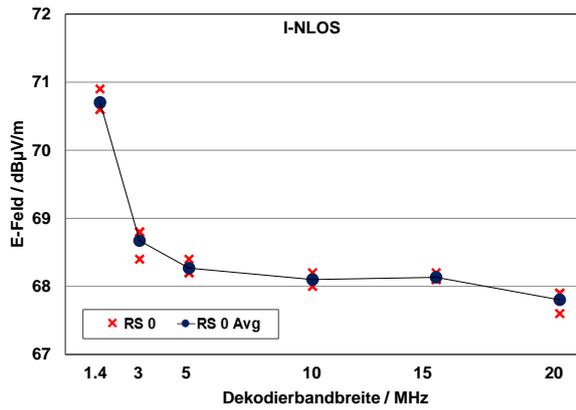
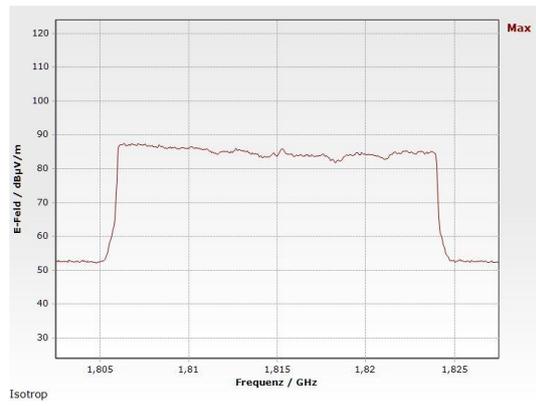
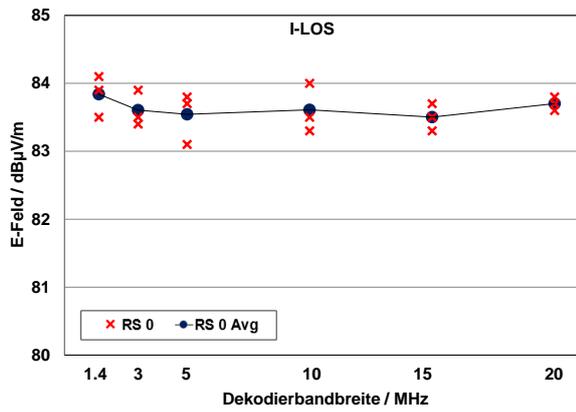


Bild 3.1: Messwerte der Code-selektiven RS-Messungen an den vier Messpunkten I-LOS, I-NLOS, O-LOS und O-NLOS (links, RS0: rote Kreuze, RS0 Avg: blaue Punkte) und zugehörige Frequenzspektren (rechts). Die Lage der Messpunkte ergibt sich aus Bild 2.2.

Offensichtlich erfahren die unmittelbar um die Mittenfrequenz liegenden Frequenzanteile eine geringere Dämpfung als insbesondere die höheren, d.h. rechts von der Mittenfrequenz liegenden Frequenzen. Dieses Verhalten ist auf die spezifischen Ausbreitungsbedingungen des Funksignals zurückzuführen. Werden nun nur die mittleren Frequenzen in die Dekodierung einbezogen, ergibt sich zwangsläufig ein höherer Mittelwert als bei einer Mittelung über die gesamte Signalbandbreite.

Beim Messpunkt O-LOS ist die Spannbreite der gemittelten RS-Pegel über der Bandbreite mit etwa 1 dB gering. Allerdings fällt hier auf, dass die Messwerte der drei Einzelmessungen mit bis zu 3,5 dB wesentlich stärker schwanken als bei den vorherigen Beispielen. Das ist insbesondere durch die Lage des Messpunktes auf Erdbodenniveau begründet: Während der Messungen liefen mehrmals Personen am Messpunkt vorbei und änderten damit massiv die Wellenausbreitungsbedingungen durch Abschattung bzw. Beugung.

Eine deutliche Variation zwischen den Einzelmessungen ist auch am Messpunkt O-NLOS festzustellen, wobei auch hier wegen der Lage auf Erdbodenniveau sowohl Personen, als auch Autos die Ausbreitungsbedingungen zeitlich massiv änderten. Diese Beeinflussung wirkt sich auch auf die Mittelwerte von RS0 in Abhängigkeit der Dekodierbandbreite aus, allerdings im Unterschied zu Messpunkt I-NLOS nicht systematisch. Sie fällt mit mehr als 6 dB größer aus als im Szenario I-NLOS. Das zugehörige Frequenzspektrum als Max-Hold Spektrum innerhalb einer Zeit von etwa 6 Sekunden unterstreicht die frequenzselektive Dämpfung des relevanten Funkkanals.

3.2 Schwenkmethode zur Reduzierung der bandbreitenabhängigen Variationen

Bei den bisherigen Messungen befanden sich das Messgerät und die Antenne stationär an einem fixen Raumpunkt. Bei Expositionsmessungen im Hochfrequenzbereich ist aber die Schwenkmethode üblich: Hierbei wird mit der Messantenne ein zu untersuchendes Raumvolumen durchschwenkt, wobei das Messgerät auf Maximalwertanzeige programmiert ist. Mit dieser Methode werden zuverlässig der im Raumbereich vorliegende Maximalwert detektiert und kleinräumige Feldstärkeschwankungen durch so genanntes „Small-Scale Fading“ ausgeblendet.

Im Folgenden soll überprüft werden, ob durch den Einsatz der Schwenkmethode die vor allem bei den NLOS-Messpunkten festgestellte deutliche Abhängigkeit der RS0-Pegel von der Dekodierbandbreite minimiert werden kann. Die Untersuchungen erfolgten dabei an den Messpunkten I-NLOS und I-LOS, bei denen die größte Variation des mittleren RS0-Pegels in Abhängigkeit der Dekodierbandbreite festgestellt worden war.

Dazu wurden an den beiden Messpunkten Messungen der Immission mit der Schwenkmethode durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit Dekodierbandbreiten bis zu 5 MHz, da darüber hinaus aufgrund der langen Akquisitionszeiten ein Einsatz der Schwenkmethode nicht mehr sinnvoll möglich ist. Bereits bei 5 MHz benötigt eine Dekodierung mit der dreiaxigen Antenne etwa 2,6 Sekunden, weswegen die Antenne zum Erzielen korrekter Messergebnisse sehr langsam durch das Volumen geschwenkt werden muss.

In Bild 3.2 ist das Ergebnis der Messungen dargestellt. Im Vergleich zu den Ergebnissen der stationären Messung in Bild 3.1 kann die Variation des mittleren RS-Pegels über der Dekodierbandbreite bei Einsatz der Schwenkmethode von 3 dB bei I-NLOS bzw. 6 dB bei

O-LOS auf etwa 1,5 dB reduziert werden, da offenbar beim Durchschwenken des Volumens unterschiedliche Ausbreitungspfade erfasst werden. Die Variation liegt damit in derselben Größenordnung wie die Reproduzierbarkeit zwischen den drei Einzelmessungen. Dies bedeutet, dass bei Messungen mit der Schwenkmethode eine Dekodierbandbreite von 1,4 MHz ausreichend ist, wohingegen bei stationären Messungen z.B. auf einem Stativ insbesondere bei NLOS-Szenarien eine höhere Dekodierbandbreite zu wählen ist.

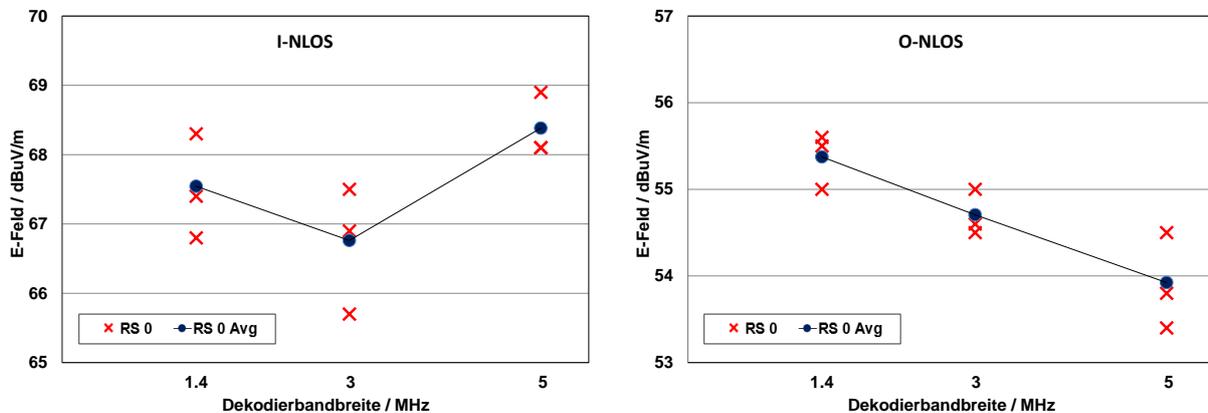


Bild 3.2: Einfluss der Dekodierbandbreite auf die RS0-Feldstärkewerte bei Einsatz der Schwenkmethode am Messpunkt I-NLOS (links) und O-NLOS (rechts). RS0: rote Kreuze, RS0 Avg: blaue Punkte. Die Lage der Messpunkte ergibt sich aus Bild 2.2.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Vorliegender Beitrag untersucht an systematisch im Umfeld einer LTE-Basisstation ausgewählten Messpunkten den Einfluss der Dekodierbandbreite auf die Genauigkeit von Code-selektiven Immissionsmessungen am Beispiel des Messgerätes Narda SRM-3006. Für ein stationär z.B. auf ein Stativ installiertes Messgerät ist vor allem in Szenarien ohne Sicht auf die Basisstation mit einer Variation von mehr als 3 dB ein deutlicher Einfluss der Dekodierbandbreite auf die Messwerte feststellbar, der allerdings bei Anwendung der Schwenkmethode auf 1,5 dB reduziert werden kann. Damit liefert auch eine Messung mit der niedrigsten verfügbaren Dekodierbandbreite von 1,4 MHz bei Einsatz der Schwenkmethode zur lokalen Maximumsuche vertrauenswürdige Ergebnisse und bietet den Vorteil einer hohen Dekodiergeschwindigkeit und damit großen Aktualisierungsrate.

5 Literaturhinweise

- [1] Chr. Bornkessel, Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen, Teil 1: Grundlagen; Teil 2: Messmethoden, Application Note, Narda, 2013.
- [2] Narda Safety Test Solutions, SRM-3006 Frequenzselektive Messung hochfrequenter elektromagnetischer Felder, <https://www.narda-sts.com/de/selektiv-emf/srm-3006/>, zuletzt besucht: 04.12.2017.
- [3] Chr. Bornkessel, M. Hein und M. Wuschek, Measurement of human exposure to LTE base stations: Present status and future challenges in measurement methodology, Proceedings of the 45th European Microwave Conference, 2015, DOI: 10.1109/EuMC.2015.7345905.