

Information zu einem gemeinsamen Messbericht von APWPT und DKE AK 731.0.8

Untersuchung des LTE Störungspotentials auf den Betrieb von PMSE¹

Einleitende Zusammenfassung

Die Studie untersucht den Einfluss von handelsüblichen LTE-Endgeräten auf drahtlose Produktionsmittel und Empfangsgeräte wie Mikrofone, Hörhilfen und drahtlose Kopfhörer in den Frequenzbereichen 863-865 MHz und 823-831 MHz.

Bisherige Studien basierten auf der Verwendung von Signalgeneratoren, eingestellt auf Modulationen der ETSI Standards oder nutzten zuvor aufgezeichnete LTE-Signale.

Die nachfolgend beschriebene Messung besteht aus zwei Teilen:

1. Freifeldmessung des Betriebs von LTE-Endgeräten im Bereich einer LTE-Basisstation
2. Am Markt verfügbare LTE-Endgeräte, die an einem R&S "Basisstationsemulator" betrieben werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen:

- Der Einsatz von Funkmikrofonen in der Duplex-Lücke (823-831 MHz) ist unter den Bedingungen des aktuellen ETSI-Standards für LTE-Endgeräte nicht möglich.
- Das 862-870 MHz-Band wird durch die Störungen benachbarter LTE-Endgeräte für SRD (Short Range Devices, z.B. Hörhilfen, drahtlose Audiolinks, Funkmikrofone, Tourguide-Systeme, Anlagen für Konferenzdolmetscher, In-Ear-Monitore, s.g. Babyphones, Alarmanlagen und RFID) unbrauchbar. Davon sind viele Millionen Geräte betroffen, weil dieses Spektrum europaweit für diese Anwendungen harmonisiert ist und intensiv genutzt wird.
- Die bisherige Nutzung von Signalen mit 100%, 50% oder im Leerlauf sind unzureichend für eine Kompatibilitätsuntersuchung.
- Die beobachteten LTE-Störungen treten auf, wenn eine zeitnahe Änderung von Ressourcenzuweisung und Ausgangsleistung durch die Basisstation erfolgt.
- Die Messungen bestätigen die Voruntersuchungen der APWPT im Rahmen der ECC/CEPT TG4, September 2009, Dokument: TG4 (09) 304.
- In einem typischen Anwendungsfall mit einem 3-Meter-Abstand zwischen einem PMSE-Empfänger und einem LTE-Endgerät kommt es zur Störung bei der Empfindlichkeit von bis zu 40 dB. Um das erforderliche S/N-Verhältnis aufrechtzuerhalten, müsste die PMSE Sendeleistung um den gleichen Betrag erhöht werden (40dB entsprechen einer Leistungssteigerung um den Faktor 10.000).
- Diese Messungen stellen die theoretischen Ergebnisse der SE42, zusammengefasst im CEPT Report 30, in Frage.

¹ PMSE = Programme Making and Special Events / Drahtlose Werkzeuge der professionellen Veranstaltungsproduktion. In diesem Dokument werden ausschließlich Empfänger zur Audioübertragung berücksichtigt.

1. Einleitung

Bis 2013 soll in Europa flächendeckend im Frequenzbereich 791-821 MHz (Frequenzbereich der Basisstationen – BS²) und 832-862 MHz (Frequenzbereich der Anwenderendgeräte – UE³) LTE eingeführt werden⁴. Für PMSE soll europaweit die Duplexlücke im Teilbereich 823-831 MHz nutzbar sein.

Zusätzlich gibt es seit vielen Jahren eine intensive Nutzung im Bereich 863-865 MHz, die neben PMSE weitere Anwendungen (z.B. drahtlose Kopfhörer) kennt. Es stellt sich also die Frage, inwieweit die beiden letztgenannten Frequenzbereiche durch den LTE-Betrieb in Veranstaltungen oder im Heimumfeld beeinflusst werden können.

Der DKE AK 731.0.8 im deutschen DIN und VDE hat bereits 2009 im Rahmen der Beobachtung von Pilotprojekten zu drahtlosen UHF-Internetzugängen darauf aufmerksam gemacht, dass neben den bekannten Störszenarien von UMTS oder HSDPA weitere Störungen auftreten können. Insbesondere bei so genannten Sendertransienten (sehr kurze Impulse, die das Sendersignal überlagern) wurde ein erheblicher Einfluss auf den Betrieb von PMSE beobachtet. Es stellt sich also die Frage, ob derartige Störungen auch bei LTE auftreten und welchen Effekt diese auf PMSE haben können.

Bisher wurden nur wenige repräsentative Studien bekannt. Diese gehen von einem geringen LTE-Störpotential aus. Das folgende Dokument zeigt eine andere Sicht.

Die aktuelle Untersuchung mit Unterstützung der Universität Braunschweig⁵ bestätigen das Auftreten derartiger Störungen und präsentieren erste Messergebnisse. Da im Markt befindliche LTE- und PMSE Hardware in einer realen LTE-Zelle beobachtet wurde, ist von einer guten Praxisnähe auszugehen⁶.

Zusätzlich werden Freifeld- und Laborversuchsaufbauten beschrieben, mit denen weitere Untersuchungen durchgeführt werden können. Mit diesem Laboraufbau wurden unterschiedliche LTE- und PMSE Szenarien realisiert und ausgewertet. Die LTE-Endgeräte konnten auf unterschiedliche Arbeitsfrequenzen konfiguriert werden.

Im Nebensatz stellt sich zusätzlich die Frage, warum bei vorherigen Störuntersuchen die in diesem Papier demonstrierten UE-Störungen nicht beobachtet bzw. dokumentiert wurden. Auch darauf wird eine vorläufige Antwort gegeben und es werden weiterführende Untersuchungen vorgeschlagen.

² Downlink-Frequenzen

³ Uplink-Frequenzen

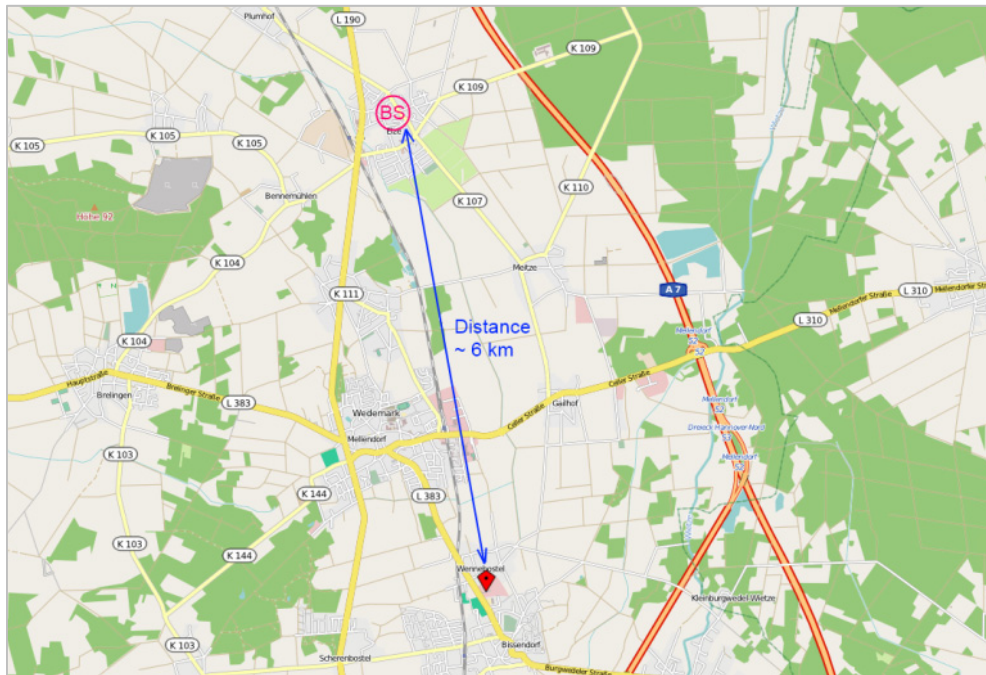
⁴ Zusätzlich zu 800 MHz wird LTE auch auf 1800 und 2600 MHz eingeführt. LTE1800 und LTE2600 sind allerdings nicht im Fokus dieses Dokuments.

⁵ Institut für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig

⁶ Alle Untersuchungen basieren auf dem LTE800-Uplink, also dem Signal, das vom LTE-UE ausgesendet wird. Der Downlink der LTE-Basisstation wurde nicht betrachtet.

2. Beobachtungen des Betriebs von LTE-UEs in einer realen LTE-Zelle

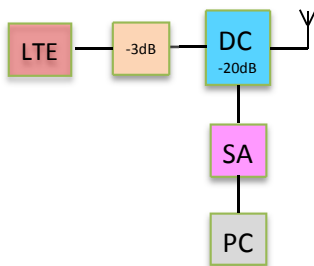
In Norddeutschland werden LTE-Basisstationen betrieben, u.a. in der Region Wedemark:



Karte: <http://www.openstreetmap.de/karte.html>

Im Abstand von rund 6 km zur LTE-Basisstation (BS) wurden zwei LTE-Router und ein LTE-USB-Stick betrieben und deren Sendesignale beobachtet.

3. Versuchsaufbau zur Beobachtung des LTE-Endgerätebetriebs

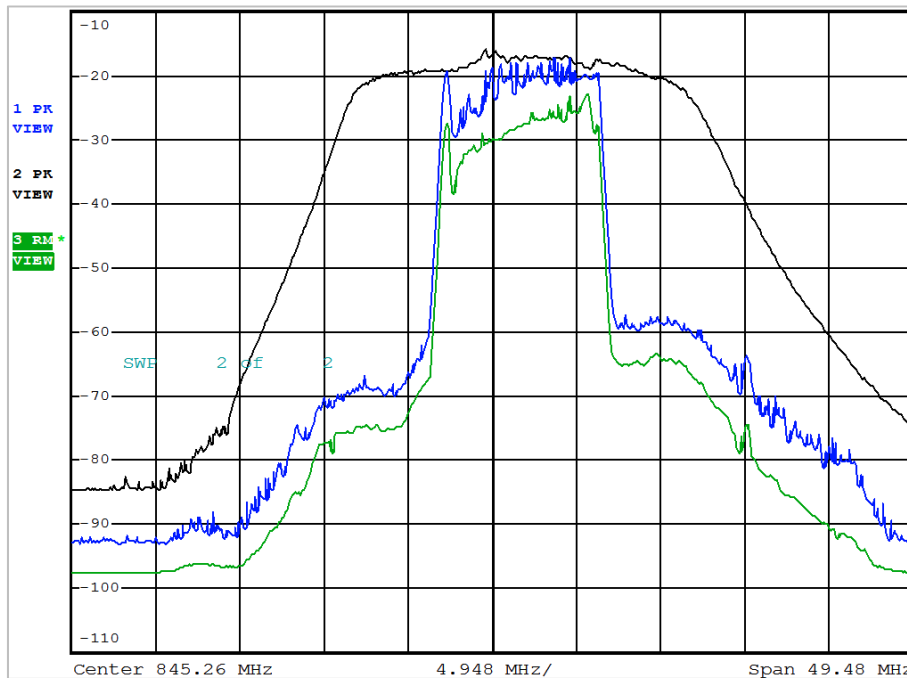


DC	:	Antennenkoppler
-3dB	:	Dämpfungsglied
SA	:	Spektrumanalysator
LTE	:	LTE-Endgerät (UE)
PC	:	PC zur Spektrogrammaufzeichnung

a. Bildarstellung des Antennenkopplers an einem LTE-Router



b. Erster Eindruck des LTE-Signals⁷ bei üblicher Messgeräteeinstellung



Pegelangaben liegen ca. 40 dB unter Quellenpegel

Erläuterung zur Darstellung:

- Trace 1: Detector = Max Peak, RBW = 300 kHz (blau)
- Trace 2: Detector = Max Peak, RBW=10 MHz (schwarz)
- Trace 3: Detector = RMS, RBW = 300 kHz (grün)
Trace 3 ist zu Trace 2 um den typischen Crestfaktor von 7-10 dB versetzt.
- Der maximale Ausgangspegel wird durch Vorteiler und die Dämpfung des Antennenkopplers um ca. 40 dB reduziert.

Bereits 2009 wurde beschrieben, dass mit der üblichen Messgeräteeinstellung keine Sendertransienten dargestellt werden, obwohl diese in Mikrofonempfängern als starke Störungen wahrnehmbar sind. Diese Störungen sind am Ausgang des betroffenen Mikrofonempfängers als ein dem Nutzsignal überlagertes starkes Prasseln hörbar.

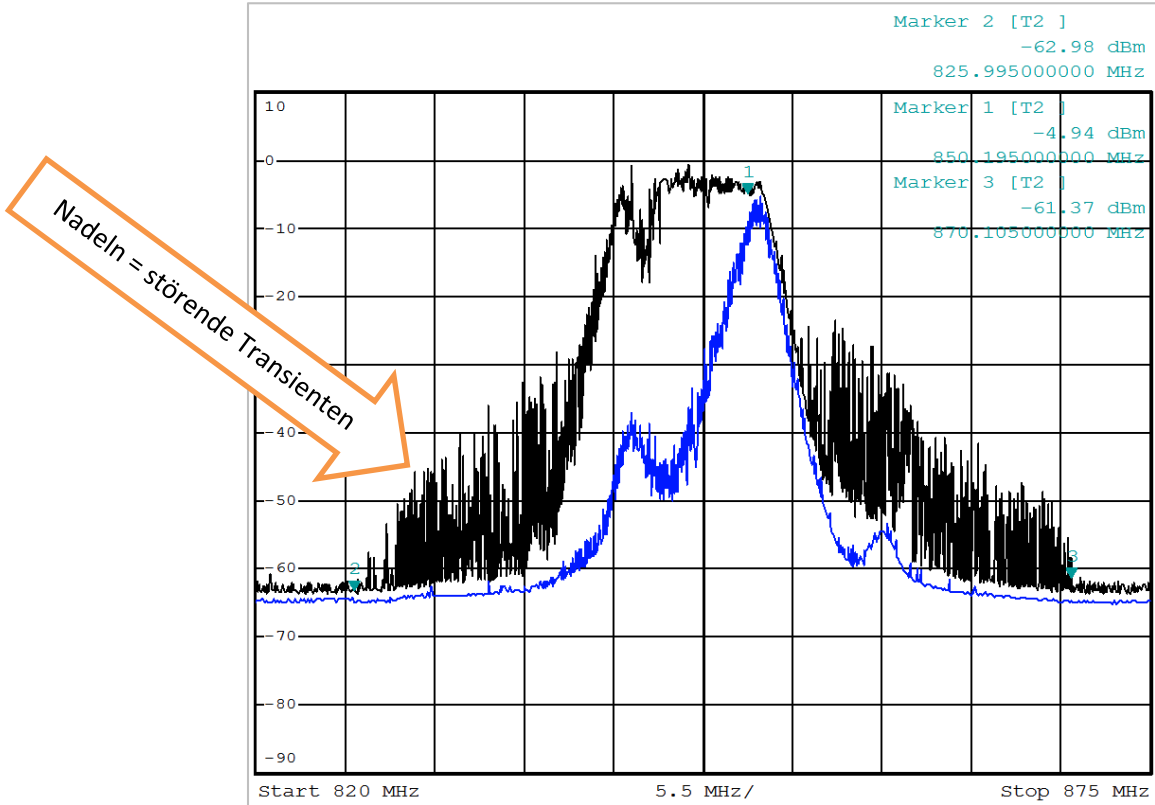
c. Ein Vorschlag zur Änderung der Geräteeinstellung

Bei den beobachteten LTE-Transienten handelt es sich um schmale Impulse. Diese werden bei den Default-Messgeräteeinstellungen (typisches Spektrumanalysator-Setup) nicht oder nur unzureichend aufgezeichnet. Offenbar ist insbesondere die „Sweep time“ deutlich zu verlängern.

In den folgenden Beispielen wurde die „Sweep time“ bis zu Faktor 5 vergrößert. Zur Messung der Transienten-Amplitude ist eine große Bandbreite und dieser Trace auf „Max Hold“ einzustellen. Eine zusätzliche Darstellung mit kleinerer Bandbreite verbessert die frequenzbezogene Darstellung.

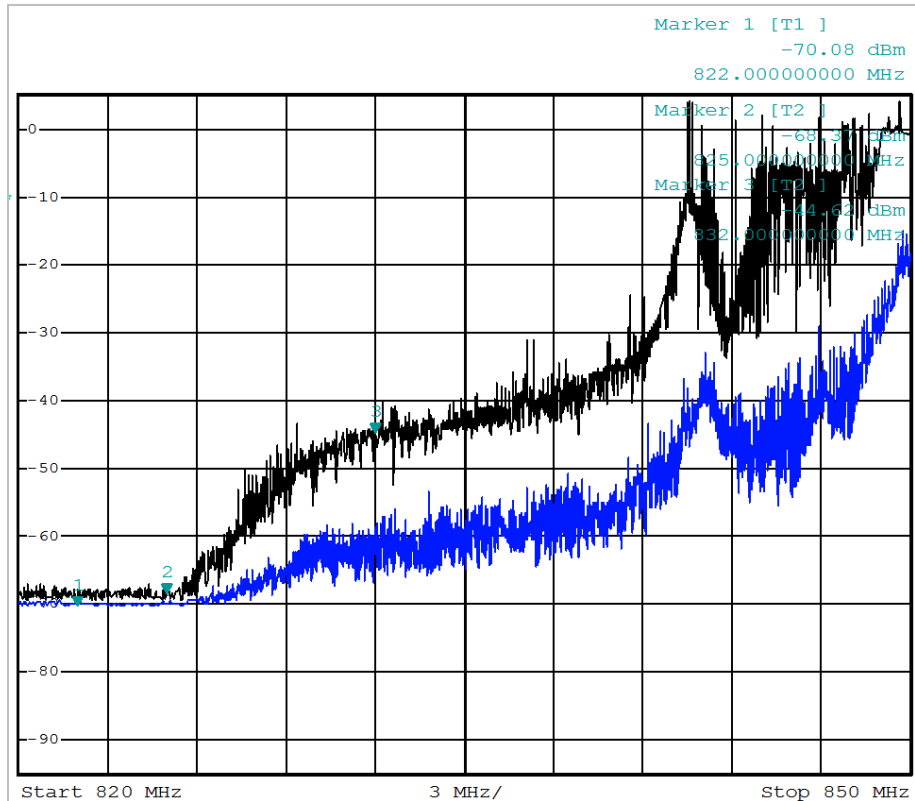
⁷ LTE-Uplink bei 847 MHz

d. Die modifizierte Messgeräteinstellung führt zum Nachweis von Signaltransienten



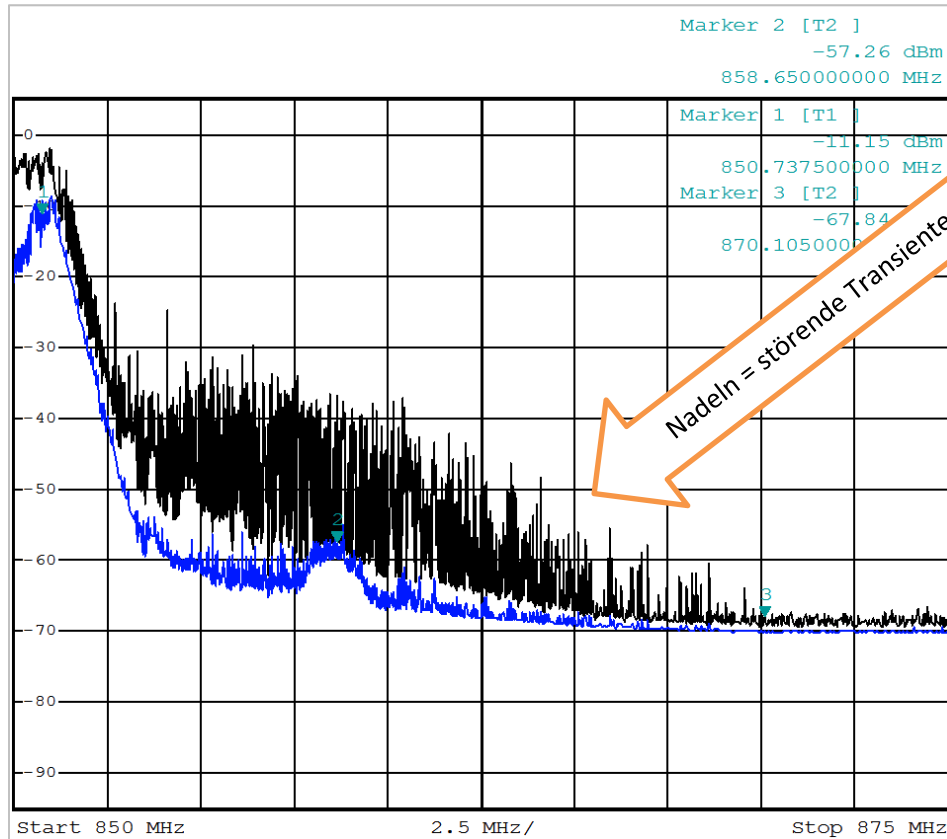
Alle Signale sind durch den Messaufbau um ca. 23 dB reduziert

e. Teilmessung im Frequenzbereich der Duplexlücke



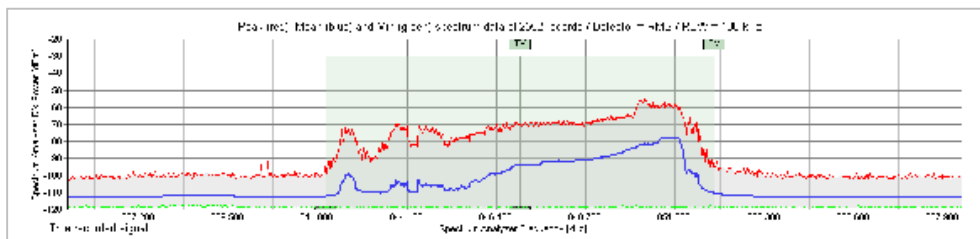
Alle Signale sind durch den Messaufbau um ca. 23 dB reduziert

f. Teilmessung im Frequenzbereich 863-875 MHz



Alle Signale sind durch den Messaufbau um ca. 23 dB reduziert

4. Aufzeichnung des LTE-UE aus größerer Entfernung



Obwohl die Messstation um rund 80 dB entkoppelt war, was einer Freiraumentfernung von 270 m entspräche, ist zu erkennen, dass das LTE-UE Aussendungen außerhalb seines Betriebsfensters (in der Grafik grau-grün hinterlegt) erzeugt.

a. Beobachte LTE-Endgeräte

- 2 Stück LTE- Router B1000-VT (aus unterschiedlichen Produktionsserien)
- 1 Stück LTE-USB-Stick GT83740

b. Zusammenfassung der Feldbeobachtungen

Die Beobachtung des realen Betriebs von Endgeräten bestätigte bei geänderter Messgeräte-einstellung das Vorhandensein von Sendertransienten auch im LTE-Betrieb. Der erste Versuchsaufbau sollte vor weiteren Interpretationen im Laborversuch bestätigt werden.

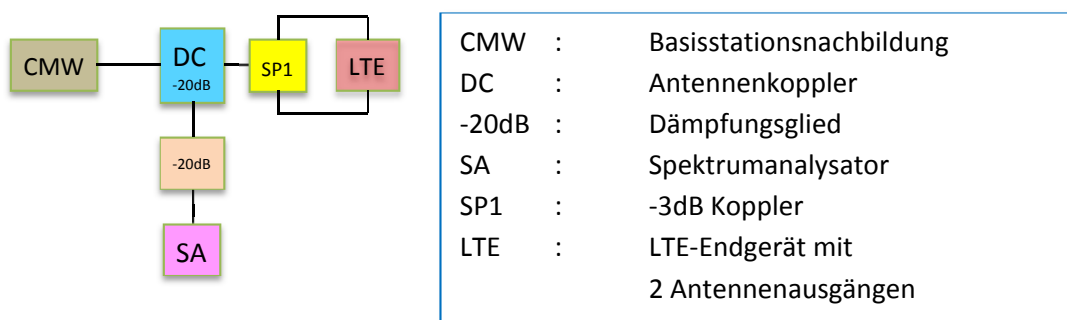
5. Labormessungen

Für den Laborvorschuch wurden zwei unterschiedliche Messanordnungen aufgebaut:

- Mit einer vereinfachten Anordnung wurden weitere Untersuchungen zum realen Betrieb von LTE-Endgeräten und dem Auftreten von Sendertransienten durchgeführt.
- Mit einem erweiterten Laboraufbau wurden Untersuchungen zur Beeinflussung von PMSE-Empfängern zweier Hersteller vorgenommen.

Bei beiden Aufbauten wurde eine Basisstationsnachbildung vom Typ CMW500 (Rohde & Schwarz Wideband Radio Communication Tester) eingesetzt. Diese erlaubt detaillierten Einfluss auf den Betrieb der LTE-Endgeräte zu nehmen.

6. Laboraufbau zur Untersuchung des LTE-Endgerätebetriebs



Hinweis:

- Der Splitter „SP“ sollte auf möglichst hohe Entkopplung der Ports ausgewählt werden. Sonst besteht die Gefahr, dass der jeweils inaktive LTE-Ausgang Intermodulationen erzeugt. In unserem Beispiel war eine Entkopplung von > 25 dB sichergestellt.
- In der Praxis wird bei der Nutzung von zwei Antennen am LTE-Endgerät darauf keine Rücksicht genommen. Senderintermodulation ist daher wahrscheinlich der Regelfall.

a. Vorbemerkung zur LTE-Betriebsart

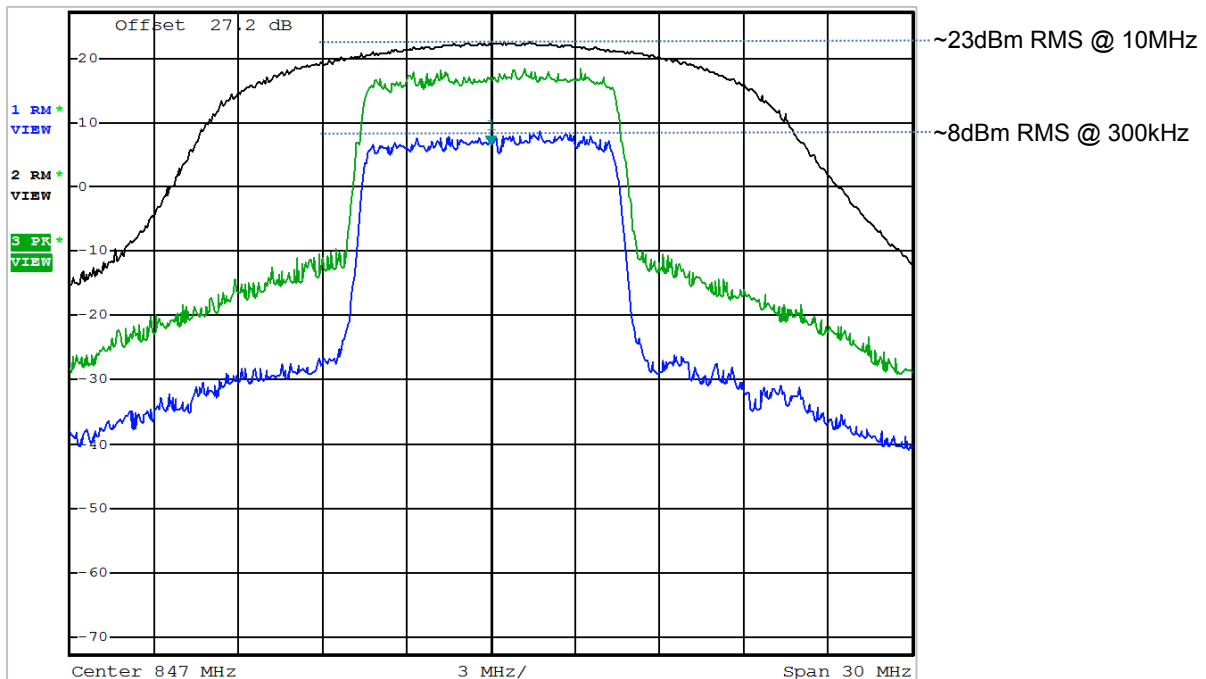
Im Rahmen der Laborerprobung wurde deutlich, dass das LTE-Außerkanalspektrum mindestens von folgenden Parametern beeinflusst wird:

- LTE-Mittenfrequenz (837, 847 oder 857 MHz)
- LTE-Ausgangsleistung
- Art der Ressourcenzuweisung im 10 MHz Betriebskanal
- Steuerung der Ausgangsleistung

Für den Spezialfall, dass dem LTE-UE durch die Basisstation die Ressourcen konstant oder vollständige zugewiesen werden und das LTE-UE mit konstanter Ausgangsleistung arbeitet, konnten keine Transienten nachgewiesen werden. **Die Beschränkung auf diese Betriebsart dürfte die Ursache für Abweichungen in anderen Prüfberichten sein.**

Im realen Betrieb werden dem LTE-UE die Ressourcenblöcke dynamisch zugewiesen werden und das LTE-UE passt ständig die Sendeleistung an – es treten Transienten auf. **Bei künftigen Messungen ist dieser Regelfall zu berücksichtigen.**

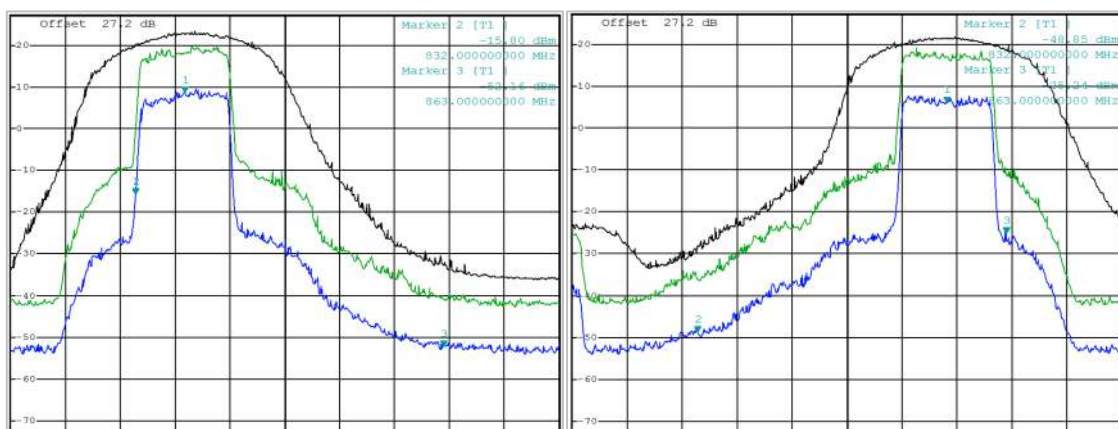
b. LTE-Signal bei konstanter Leistung und vollständiger Ressourcenzuweisung



Angezeigte Pegelwerte entsprechen dem Quellpegel

- Trace 1 (schwarz): RBW = 10MHz, Sweep = 2.5ms, Detector = RMS
- Trace 2 (grün): RBW = 300kHz, Sweep = 2s, Detector = MaxPeak
- Trace 3 (blau): RBW = 300kHz, Sweep = 2.5ms, Detector = RMS

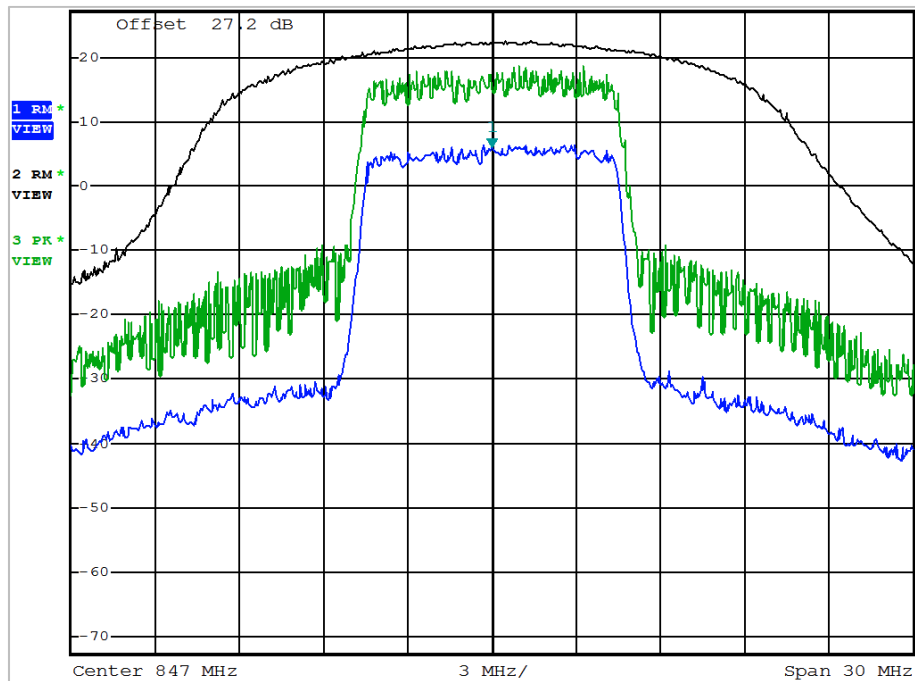
c. Veränderung des LTE-Signals bei unterschiedlicher Mittenfrequenz



Angezeigte Pegelwerte entsprechen dem Quellpegel

Die Praxisbeobachtung des Betriebs von LTE-UEs in einer realen LTE-Zelle hat gezeigt, dass die LTE- Ausgangsleistung, -Ressourcenzuweisung ständig verändert werden. Der statische Betriebsfall wurde daher nicht weiter untersucht.

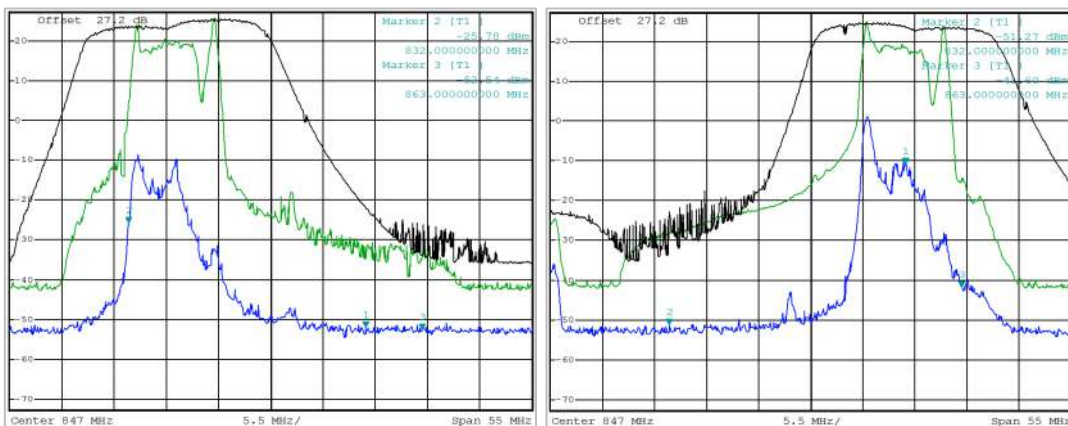
d. LTE-Signal bei zyklisch veränderter Ausgangsleistung



Angezeigte Pegelwerte entsprechen dem Quellpegel

Bei kontinuierlich veränderter Ausgangsleistung entstehen zusätzliche Störprodukte.

e. LTE-Signal bei zyklisch veränderter Ausgangsleistung und Ressourcenzuweisung

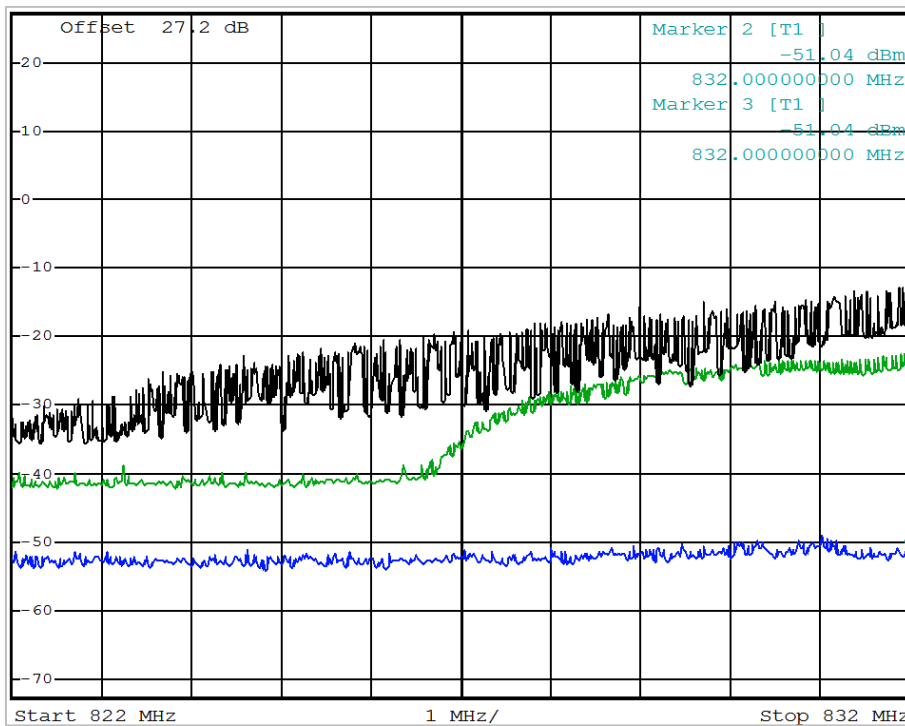


Angezeigte Pegelwerte entsprechen dem Quellpegel

Hinweis:

- Wegen der langen „Sweep time“ weicht der blaue Trace, der hier auf Average eingestellt war, deutlich von der grünen Peak-Darstellung ab.
- Gut zu erkennen ist, dass in dieser Betriebsart Sendertransienten auftreten.

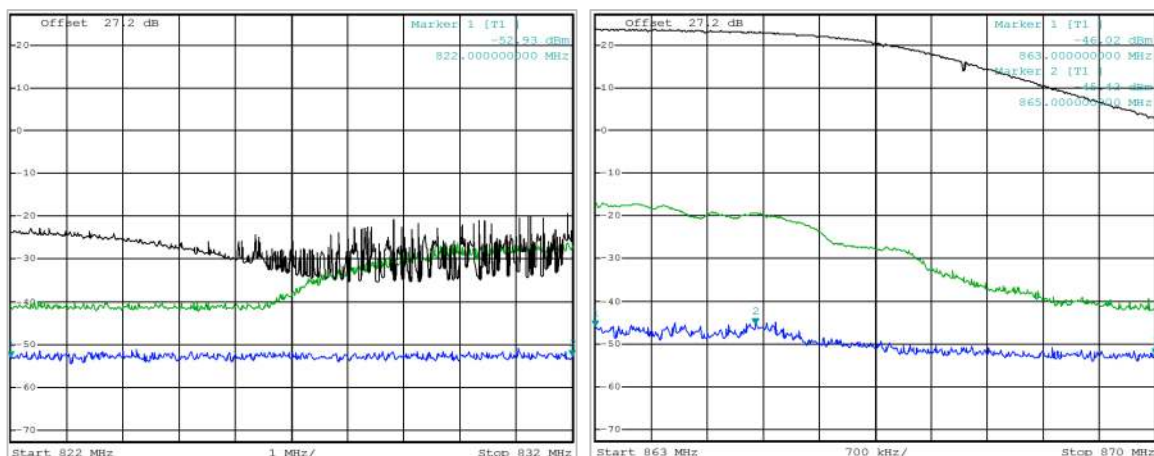
f. Die Beeinflussung der Duplexlücke bei einer LTE-Frequenz von 847 MHz



Angezeigte Pegelwerte entsprechen dem Quellpegel

Die LTE-Duplexlücke 823-831 MHz wird mit erheblichen Störungen beaufschlagt. Bei einem räumlichen Abstand von LTE-UE und PMSE von 3m muss mit Störpegeln von über -25 dBm im einem 200 kHz PMSE-Kanal gerechnet werden. Signifikant ist der hohe Impulsanteil, erkennbar durch die kleine RMS-Amplitude.

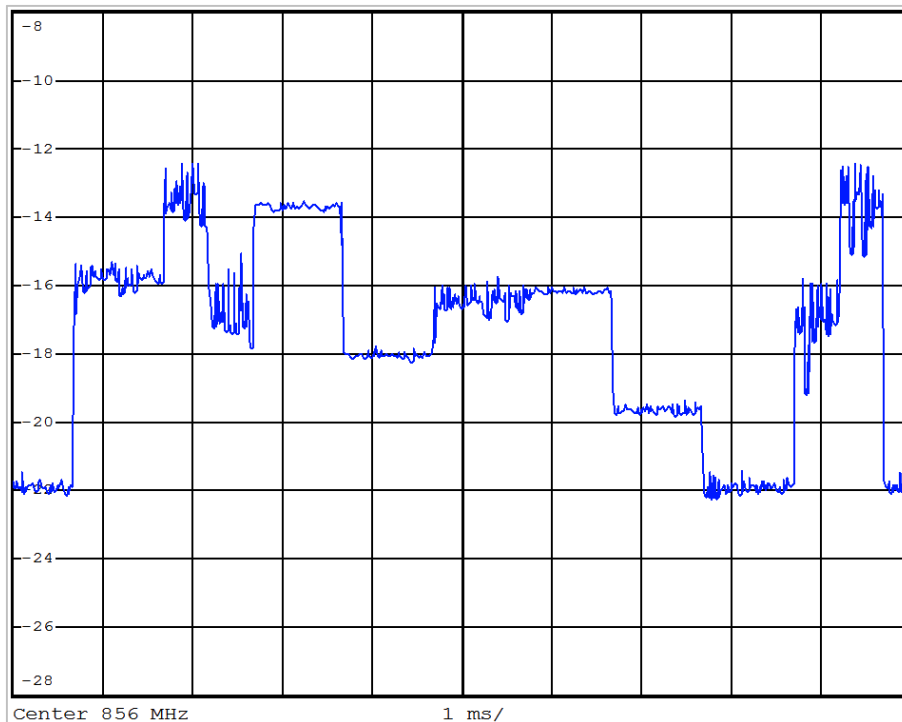
g. Die Beeinflussung von 863-870 MHz bei einer LTE-Frequenz von 837 und 857 MHz



Angezeigte Pegelwerte entsprechen dem Quellpegel

h. Das LTE-Signal des Labortests in der Zeitbereichsdarstellung

Auf der Grundlage der Laboruntersuchungen wurde ein repräsentatives LTE-Signal entworfen und nachfolgend im Zeitbereich mit unterschiedlicher Auflösung untersucht. Im Bild mit 501 Punkten Auflösung sind keine LTE-Transienten erkennbar:



Es wird vermutet, dass die störenden LTE-Impulse beim Wechsel unterschiedlicher Ressourcenzuweisungen entstehen. Im Laborversuch konnte nachgewiesen werden, dass die Kombination von wechselnder Ressourcenzuweisung und Leistungsänderung sicher zu diesen Störungen führt.

i. Zusammenfassung der LTE-Signalaufzeichnung im Laborversuch

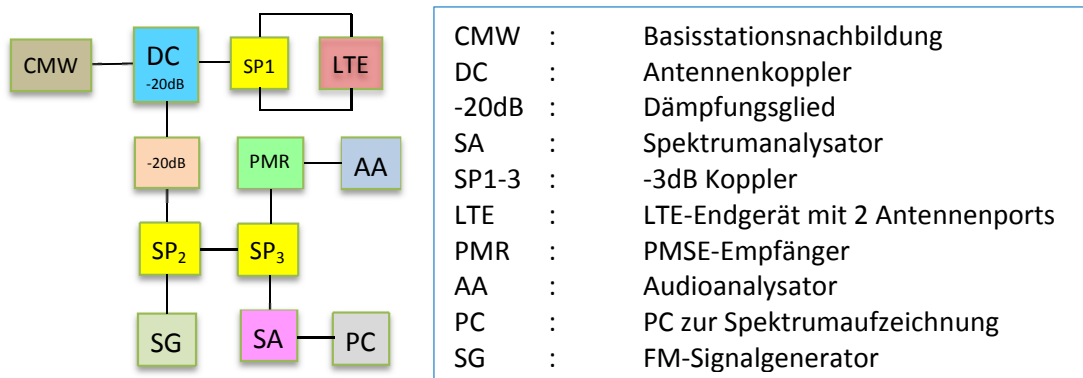
Das LTE-Signal unterliegt einem komplexen Zusammenspiel unterschiedlicher Betriebsparameter. Eine vereinfachte Bewertung des Störpotentials, wie es zum Beispiel mit UMTS-Signalen⁸ möglich war, scheidet daher aus.

In Abhängigkeit der LTE- und PMSE-Frequenzbelegung konnten bei der nachgestellten Entfernung von 3m Störprodukte mit einer Leistung bis ca. -18 dBm (Peak @ 300 kHz RBW) beobachtet werden.

Im nächsten Kapitel wird untersucht, welchen Einfluss derartige Störungen auf den PMSE-Empfangsbetrieb ausüben.

⁸ UMTS besteht vereinfacht aus Sprache und Daten. Der DKE AK 731.0.8 konnte eine HSDPA-Datenverbindung in einem Laborversuch untersuchen und berichtete über Sendertransienten. Informationen finden Sie in diesem Bericht auf Seite 11: http://www.apwpt.org/downloads/dke_bericht_pilotversuch_baldern_final.pdf
Gemeinsamer Messbericht von APWPT und DKE AK 731.0.8: „LTE-Störpotential und PMSE“

7. Laboraufbau zur Untersuchung der Störbeeinflussung von PMSE-Empfängern



Hinweise:

- Durch den Messaufbau wird ein Abstand von 3m zwischen dem LTE Router und dem PMSE-Empfänger nachgebildet. Das entspricht einem Szenario wie es z.B. Heimumfeld, im Umfeld von Unternehmenspräsentationen oder in Klubs und der Kleinkunst angetroffen werden kann.
- Zwischen Audioausgang des PMR und dem Audioanalysator (AA) dürfen keine Filter mit A-Bewertung eingefügt werden, da diese steile Impulse zu stark abschwächen.

a. Hinweis zur Zusammenschaltung der Antennenports des LTE-UE

Der Splitter „SP“ sollte auf möglichst hohe Entkopplung der Ports ausgewählt werden. Sonst besteht die Gefahr, dass der jeweils inaktive LTE-Ausgang Intermodulationen erzeugt. In unserem Beispiel war eine Entkopplung von mindestens 20 dB sichergestellt. In der Praxis wird darauf bei der Nutzung von zwei benachbarten Antennen am LTE-Endgerät keine Rücksicht genommen; d.h. Senderintermodulationen könnten der Regelfall sein.

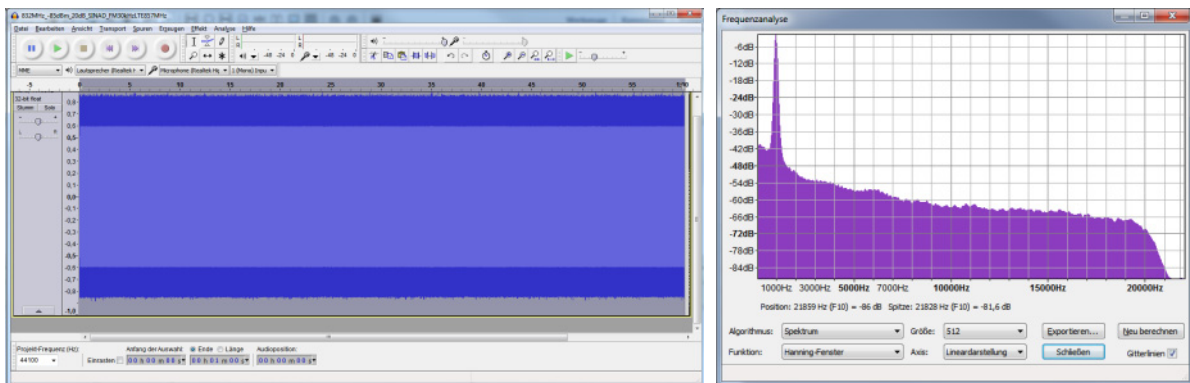
b. Hinweis zur LTE-Betriebssteuerung durch den CMW500

Auf der Grundlage der Laboruntersuchungen und zum Zusammenspiel unterschiedlicher Betriebsparameter wurde der Basisstationsemulator CMW500 so konfiguriert, dass sich das LTE-UE in einem realistischen und zugleich repräsentativen Betriebszustand befand. Mit diesem LTE-Signal wurde die Beeinflussung unterschiedlicher PMSE-Empfänger untersucht. Die Situation der Freifeldbeobachtungen konnten wegen der komplexen Programmierung nicht vollständig nachgebildet werden. Der subjektive Testeindruck der Laboruntersuchungen zeigt, im Vergleich zur Freifeldbeobachtung, ein reduziertes Störverhalten. Es ist daher im Praxisfall eher mit stärkeren Störungen zu rechnen.

c. Auswirkungen der LTE-Transienten auf die Audiowiedergabe

Die Bewertung der Beeinflussung des Empfänger Ausgangssignals fand bei einer Referenz von 20 SINAD statt. Dazu wird der FM-Generator mit einem 1 kHz Ton auf eine Modulation von +/- 30 KHz eingestellt. Die PMSE-Frequenz befindet sich in der Duplexlücke auf 832 MHz und das LTE-UE arbeitet auf 857 MHz. In dieser günstigen Frequenzbelegung konnte im Messaufbau 20 dB SINAD bei einem Pegel von -94 dBm am Empfängereingang (EM3732) erreicht werden.

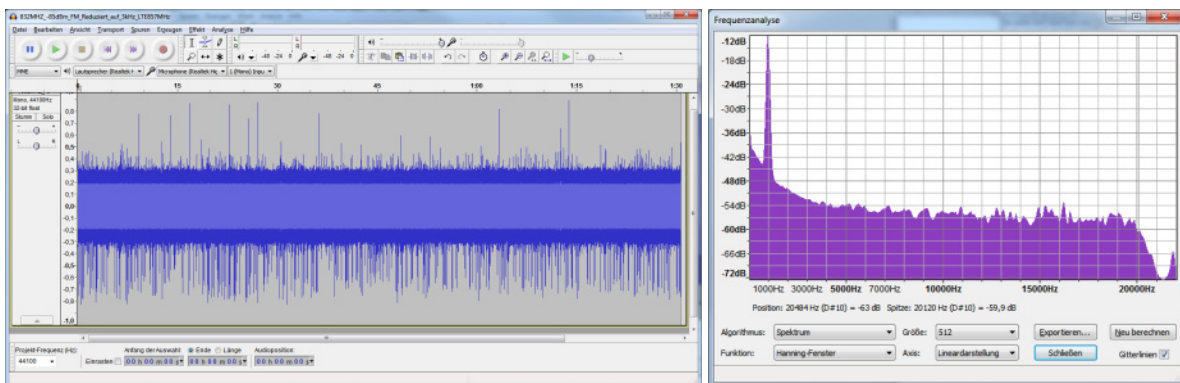
Das folgende Bild zeigt eine 68s-Aufzeichnung des Audiosignals⁹:



Bei maximaler Modulation ist sowohl im Zeitbereich als auch im Spektrum der Einfluss des LTE-Signals kaum zu erkennen. Mit aufgesetztem Kopfhörer kann das Prasseln gut abgehört werden.

Es liegt auf der Hand, dass die Testmodulation nicht den typischen Übertragungsfall darstellt. Daher wurde in einem weiteren Schritt der Modulationsgrad von +/- 30 kHz (maximale Lautstärke) auf +/- 3 KHz reduziert (-20 dB).

Das folgende Bild zeigt eine 90s-Aufzeichnung des geänderten Audiosignals:



Im Zeitbereich sind bei dieser eher günstigen PMSE-LTE-Frequenzanordnung erhebliche Prasselstörungen erkennbar, die beim Ausschalten des LTE-UE vollständig verschwinden. In der Frequenzanalyse kann man die Störung im oberen Frequenzbereich deutlich erkennen.

Hinweis:

- Berücksichtigt werden muss, dass die typische Dynamik einer professionellen Audioübertragung erheblich größer als 20 dB ist und die LTE-Störungen dadurch noch weiter in den Vordergrund treten.
- In diesem Beispiel wird ein eher günstiges Störszenario dargestellt. In der weiteren Folge werden weitere Frequenzpaarungen von PMSE und LTE dargestellt werden, die eine stärkere Störung von PMSE belegen.

⁹ Die Aufzeichnung und die Auswertung wurden mit „Audacity 2.0“ durchgeführt.

d. Das LTE-Messzenario zur PMSE-Beeinflussung

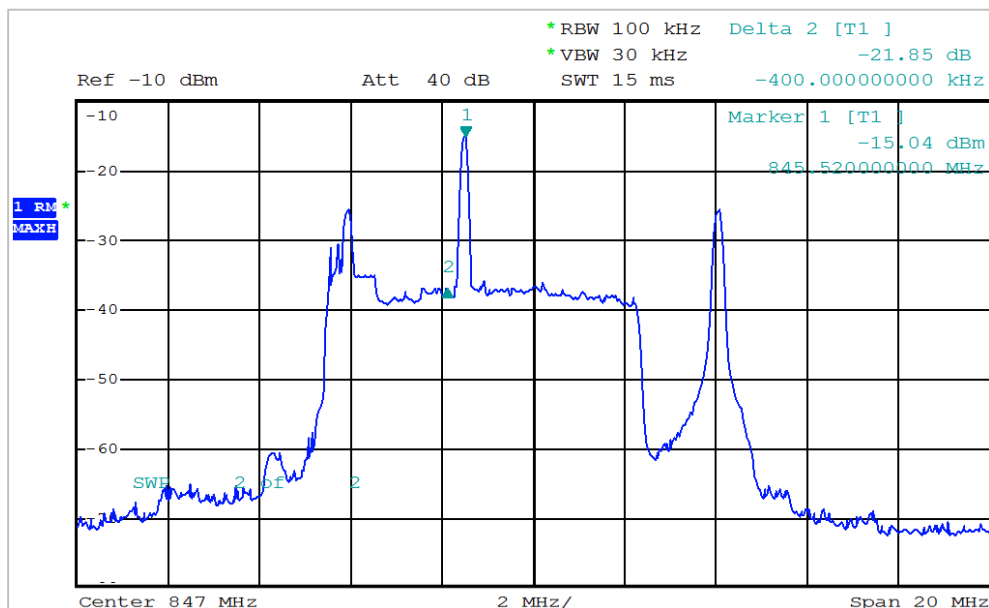
Der DKE-AK 731.0.8 verwendet seit 2007 eine indirekte Methodik zur Bestimmung der PMSE-Störung. Bei konstant anliegender Störgröße werden der PMSE-Empfänger und ein auf eine typische Modulation konfigurierter Messgenerator durch den zu betrachtenden Frequenzbereich verstimmt. In Abhängigkeit der frequenzabhängigen Störgröße muss am Messgenerator ein unterschiedlicher HF-Ausgangspegel eingestellt werden, um am PMSE-Empfängerausgang jeweils 20 dB SINAD zu erreichen.

Hinweis:

Das Messkriterium 20dB SINAD ist eine Audioqualität, die für eine professionelle Produktion (> 30 dB SINAD) nicht ausreichend ist. In einem gesondertem Punkt wird daher auf die notwendige Produktionsqualität eingegangen (siehe Abschnitt h).

e. Bestimmung des notwendigen C/I für analoge PMSE-Receiver

Das folgende Bild stellt das Test-LTE-Signal und ein PMSE-Messsignal (mit ^1 markiertes Signal) bei einer Messbandbreite von 100 kHz dar. Aus dem Pegelabstand von LTE-Signal (Marke ^2) zur notwendigen PMSE-Signalstärke (Marke ^1) für die minimal erforderliche Produktionsqualität kann der notwendige Nutz-Störsignalabstand (C/I) bestimmt werden. Die Kontrolle erfolgte durch Abhören mittels Kopfhörer.



Der notwendige Pegelabstand zum LTE-Signal wurde mit ca. 22 dB bestimmt. Diese Messung bestätigt die erst kürzlich von ETSI TG17WP3 formulierte Annahme eines minimalen C/I von 20 dB für die analoge PMSE-Nutzung und widerlegt Annahmen mit kleineren C/I aus anderen Quellen. Für den Betrieb von digitalen PMSE muss mit noch höherem Schutzbedarf ausgegangen werden.

Hinweis:

Der C/I Messwert für die nachfolgende Bewertung, basierend auf einem 20 dB SINAD und liegt ca. 7 dB tiefer als der C/I Messwert für 30 dB SINAD.

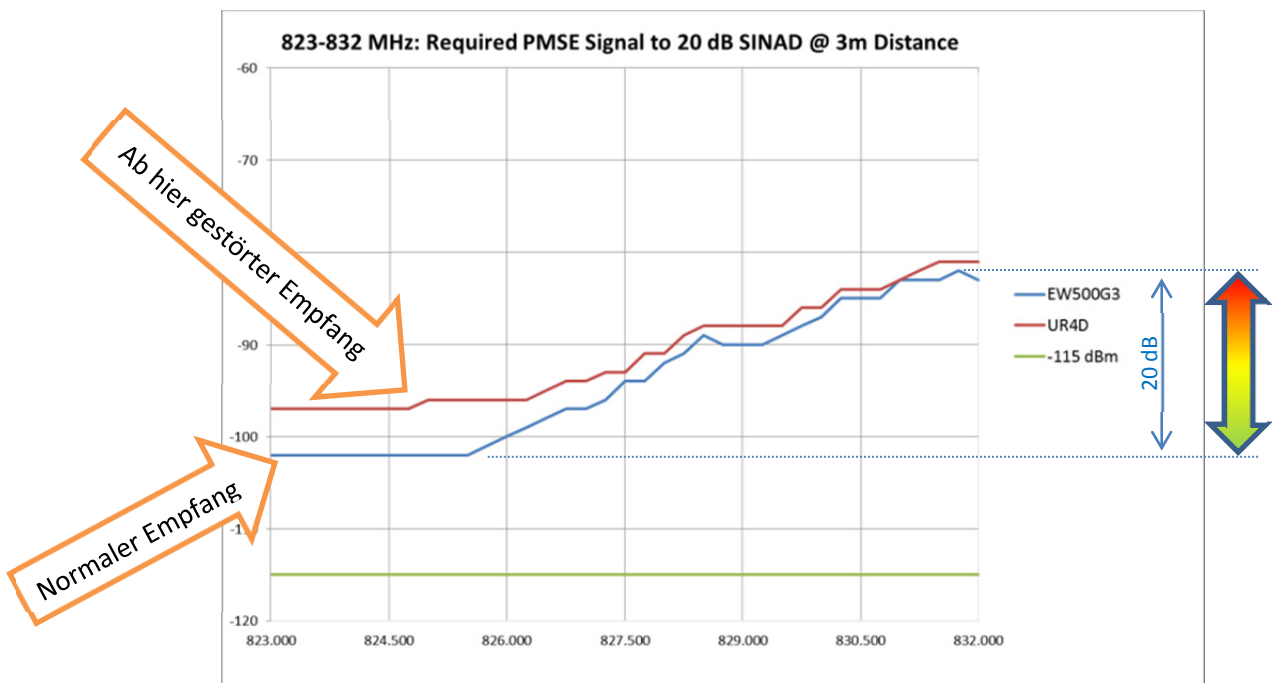
f. Beeinflussung durch LTE in der Duplexlücke bei einem SINAD von 20 dB

i. Messung 1

Zur Bestimmung des Störeffekts eines LTE-UE (847 MHz) auf PMSE wurden zwei typische PMSE-Empfänger ausgewählt und untersucht.

Hinweis:

Bei den Empfängern handelt es sich um Markt-typische Produkte, die problemlos den aktuellen ETSI-Standard (EN 300 422) erfüllen und eine große Verbreitung aufweisen.



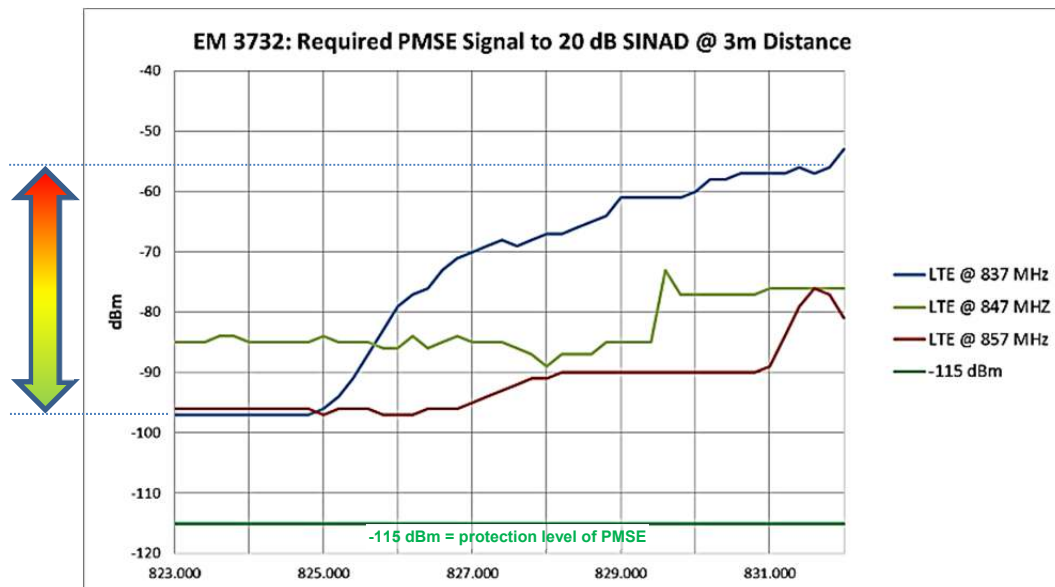
Obwohl die LTE-Mittenfrequenz mit 847 MHz nicht den ungünstigsten Fall darstellt, wurde die Qualität der PMSE-Übertragung bis zu 20 dB verschlechtert. Beim Empfänger UR4D fällt die Qualitätsminderung unterhalb 827 MHz scheinbar geringer aus. Das ist allerdings auf eine etwas geringere Empfindlichkeit dieses Empfängers zurückzuführen. Im oberen Bereich der Duplexlücke wirkt sich die LTE-Beeinflussung bei beiden Empfängern gleichartig aus.

Praktische Auswirkung:

Zur Kompensation der LTE-Störungen muss der Schutzabstand zwischen LTE-UE und PMSE-Empfänger von 3 m auf 30 m vergrößert werden. Ist das nicht möglich, ist mit erheblichen Störungen zu rechnen.

ii. Messung 2

Der Einfluss der LTE-UE-Mittenfrequenz wurde mit einem anderen Empfänger untersucht. Diese Gerätekategorie wird bei hohen Anforderungen an die Qualität der Veranstaltungsproduktion eingesetzt:



Bei diesem PMSE-Empfänger wurde die Qualität der PMSE-Übertragung bei einer LTE-Mittenfrequenz von 837 MHz über 40 dB verschlechtert. Das auf 847 MHz konfigurierte LTE-UE beeinflusst den PMSE-Empfänger mit ca. 20 dB.

Wird das LTE-UE auf 857 MHz betrieben, zeigt sich in der Duplexlücke ein typisches Störverhalten von etwa 10 dB, das oberhalb 831 MHz ansteigt.

Hinweis:

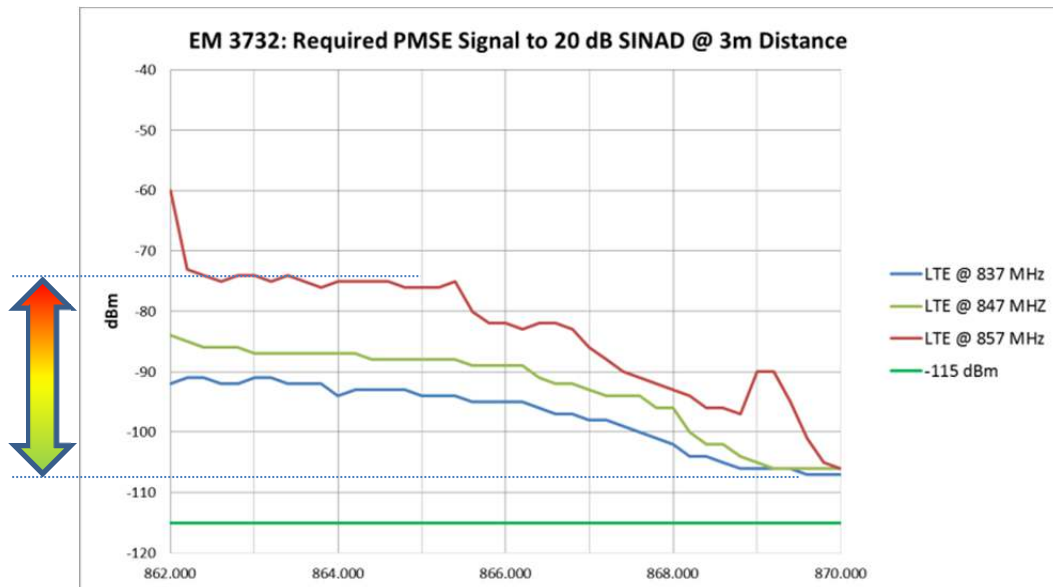
Erstaunlich war das breitbandige Störverhalten des untersuchten LTE-UE in der Mittenfrequenzlage von 847 MHz. Eine Überprüfung mit einem anderen LTE-Gerät derselben Baureihe, mit unterschiedlichem Fertigungsstand und unterschiedlicher Version der Firmware, zeigte gleichartiges Verhalten.

Praktische Auswirkung:

- Von einer benachbarten PMSE-Nutzung der Duplexlücke in Kombination mit einem LTE-UE auf 837 MHz muss abgeraten werden.
- Zur Kompensation der LTE-Störungen auf 847 und 857 MHz muss der räumliche Schutzabstand zwischen LTE-UE und PMSE von 3 m auf bis zu 30 m vergrößert werden.

g. LTE-Beeinflussung im Bereich 863-870 MHz bei einem SINAD von 20 dB

Diese Grafik visualisiert der Einfluss der Betriebsfrequenz der LTE-UE:



Bei diesem PMSE-Empfänger wurde die Qualität der PMSE-Übertragung frequenzabhängig bis zu 32 dB verschlechtert.

Praktische Auswirkung:

- Von einer benachbarten PMSE-Nutzung in Kombination mit einem LTE-UE auf 857 MHz muss abgeraten werden.
- Zur Kompensation der LTE-Störungen auf 837 und 847 MHz muss der räumliche Schutzabstand zwischen LTE-UE und PMSE von 3 m auf mindestens 30 m vergrößert werden.

h. Übertragung der Ergebnisse auf die notwendige Minimalqualität des professionellen Produktionsumfeld

Die Testparameter sind geeignet für die Labormessung, unterscheiden sich aber deutlich von den praktischen Qualitätsanforderungen vom PMSE-Übertragungsstrecken. Um die höheren Anforderungen im realen Produktionsumfeld herzuleiten, wurde, ausgehend von einem SINAD von 20 dB und mit unterschiedlichen PMSE-Empfängern, die notwendige Nutzsignalverstärkung zur Erreichung der minimalen Produktionsqualität ermittelt.

Abhängig von der LTE- und PMSE-Frequenzkombination wurde eine zusätzliche Nutzsignalanhebung von 4 bis 17 dB ermittelt:

- 4 dB bei LTE-Nebenausendung ohne Sendertransienten = Rauschen
- 17 dB bei LTE-Nebenausendung mit starken Sendertransienten = Prasseln

i. Hinweis auf den wahrscheinlichen Summeneffekt

Die Untersuchungen des DKE-AK 731.0.8 beschreiben ein Störszenario zwischen einem LTE-UE und einer Mikrofonübertragungsstrecke. Dieses vereinfachende Szenario zeigt bereits eine erhebliche Interaktion zwischen zwei benachbarten Frequenznutzungen. Kommen weitere LTE-Endgeräte zum Einsatz (z. B. wenn mehrere Beratungsteilnehmer LTE-Geräte nutzen oder Zuschauer derartige Geräte in Veranstaltungen mitbringen), so entstehen wesentlich komplexere Störszenarien. Das gilt auch für den Praxisfall, dass weitere PMSE zeitgleich betrieben werden. Diese Szenarien waren nicht Gegenstand dieses Dokuments und es werden weiterführende Untersuchungen empfohlen.

8. Fazit

Die benachbarte Frequenznutzung von PMSE und LTE-Endgeräten ist kein triviales Betriebszenario. Diese Untersuchung belegt, dass LTE-Endgeräte in praktischen Betriebsfall erheblichen Störeinfluss auf PMSE haben können.

Wir raten dringend

- zu weiteren Untersuchungen, die die beobachteten Störeffekte bestätigen und detaillierter beschreiben können,
- zu Anpassungen der Test- und Zulassungsbedingungen für LTE-Endgeräte und
- zu gemeinsamen Anstrengungen, die nächste Generation von LTE-Endgeräten mit der Fähigkeit zu erheblich verringerten Sendertransienten auszustatten.

Bis diese Sachfragen befriedigend bearbeitet wurden, müssen wir von einer gleichzeitigen und benachbarten Nutzung von PMSE und LTE-Endgeräten abraten. Das Risiko für die Liveproduktion ist derzeit nur schwer abzuschätzen. Daher wird zu großer Vorsicht geraten.

9. Danksagung

Wir danken

- dem Institut für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig, Herrn Peter Schlegel, für die wertvolle Beratung in LTE-Protokollfragen und Einrichtung des CMW500 und
- dem Lehrstuhl für Technische Elektronik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Herrn Professor Fischer für die wertvolle Diskussionen zu Senderverstärker- und Linearisierungstechniken.

10. Anlagen

- Bildbeiträge

Anlage: Bildbeiträge

1) Getestete LTE-Hardware

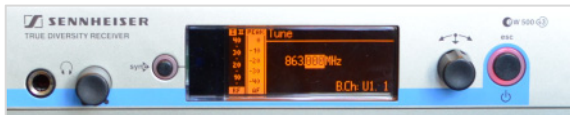


USB Stick B3740



Router B1000

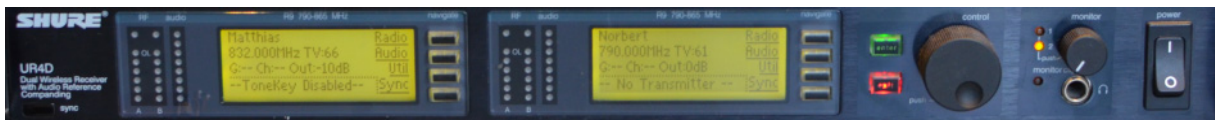
2) Getestete PMSE-Hardware



EW500G3



SLX4



UR4D

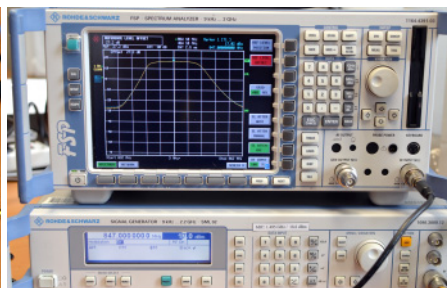


EM3732

3) Messaufbauten



Messaufbau für den ersten Laborversuch



Messgenerator und Spektrumanalysator



Zweiter Laboraufbau