

# In-Device Coexistence LTE und Bluetooth® mit WLAN Application Note

## Products:

- | R&S® CMW500
- | R&S® DST200
- | R&S® AMS32

Moderne Mobiltelefone können zellulare und nicht-zellulare Funkstandards gleichzeitig bedienen. Dabei werden die jeweiligen Subsysteme im Gerät in sehr geringer Entfernung voneinander betrieben (In-Device Coexistence). Wegen der daraus resultierenden hohen gegenseitigen Einstrahlungen kann es zu teilweise beträchtlichen Störungen kommen.

Nach theoretischen Vorüberlegungen zeigt die vorliegende Application Note, wie sich die Probleme der In-Device Coexistence messtechnisch erfassen lassen. Als Beispiel wird hier untersucht, wie sich der LTE- und der Bluetooth®-Traffic auf die WLAN-Performance eines handelsüblichen Smartphones auswirken. Diese Beispiele werden den Leser aber auch befähigen, Tests für komplementäre Szenarien zu entwerfen.

# Table of Contents

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Fallbeispiele für Coexistence-Probleme .....</b>	<b>4</b>
2.1	Einstrahlungen in benachbarte Kanäle .....	6
2.2	Störungen durch Oberwellen in Nutzbändern .....	7
2.3	Identische Frequenzbereiche .....	8
2.4	Desensitization (Eigenstörungen).....	9
<b>3</b>	<b>Messungen .....</b>	<b>13</b>
3.1	Over The Air-Messungen (OTA) .....	13
3.2	Messaufbau .....	17
3.3	Ermittlung der Pfaddämpfung .....	20
3.4	Messergebnisse .....	24
3.4.1	Einstrahlungen in benachbarte Kanäle .....	24
3.4.2	Störungen durch Oberwellen in Nutzbändern .....	27
3.4.3	Identische Frequenzbereiche .....	28
<b>4</b>	<b>Die OTA Measurement Software AMS32.....</b>	<b>32</b>
4.1	AMS32 OTA-Messungen .....	33
4.2	Test-Konfiguration.....	34
4.3	Test-Ablauf .....	38
4.4	Testergebnisse.....	39
4.5	Report-Funktion.....	40
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>Literature .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Bestell-Information .....</b>	<b>44</b>

Anmerkung: Im Folgenden wird der Wideband Radio Communication Tester R&S®CMW500 nur noch CMW500 oder CMW genannt. Die RF Diagnostic Chamber R&S®DST200 wird nur noch DST200 genannt und die OTA Measurement Software R&S®AMS32 nur noch AMS32.

# 1 Einleitung

Moderne Mobiltelefone können zellulare und nicht-zellulare Funkstandards gleichzeitig bedienen. Während einerseits über eine GSM-, UMTS- oder LTE-Basisstation telefoniert wird, kann ein "Handy" zur gleichen Zeit beispielsweise über Bluetooth® mit einer Freisprecheinrichtung oder über WLAN mit einem PC kommunizieren. Die Anforderung, dass verschiedene Funkssysteme mit Antennen im gleichen Gerät gleichzeitig nahe beieinander betrieben werden, nennt man die "In-Device Coexistence"<sup>1</sup>.

Das gleichzeitige Miteinander verschiedener Funkssysteme ist nicht neu; es ist vor allem durch international gültige Frequenzpläne und Grenzwerte für Abstrahlungen in andere Frequenzbereiche gut organisiert. Neu ist bei Mobiltelefonen (oder z.B. auch bei Automotive Communication-Modulen und Tablet-PCs) der zum Teil sehr geringe Abstand der unterschiedlichen Antennen und Speisesysteme. Die Auswirkungen eines Sendesignals auf die jeweils anderen Empfänger sind zwangsläufig um ein Vielfaches größer als bei räumlich abgesetzten Einzelgeräten.

Kapitel 2 der vorliegenden Application Note beschäftigt sich zunächst damit, welche Probleme durch die enge Nachbarschaft prinzipiell zu erwarten sind.

Kapitel 3 befasst sich mit praktischen Messungen. Als Beispiel wird untersucht, wie sich LTE- und Bluetooth® auf die WLAN-Performance eines handelsüblichen Smartphones auswirken.

Alle Messungen erfolgen dabei mit dem vielseitig konfigurierbaren Wideband Radio Communication Tester R&S® CMW500. Dieser eignet sich in besonderem Maß für Coexistence-Messungen, weil er sowohl alle wichtigen zellularen und nicht zellularen Standards beherrscht, als auch zwei verschiedene Funkssysteme gleichzeitig bedienen kann.

Im vorgeschlagenen Messaufbau findet sich die transportable RF Diagnostic Chamber DST200. Sie wurde mit ihren relativ geringen Abmessungen speziell daraufhin entwickelt, OTA-Messungen<sup>2</sup> (wie die In-Device Coexistence Messungen) nicht mehr nur in großen Schirmkammern, sondern direkt im Labor durchzuführen. Dabei gewährt die DST200 ausreichend Abstand zwischen DUT und Messantenne, um die notwendigen Fernfeldbedingungen einzuhalten. Dies ist bei kleineren "Shielded Boxes" meist nicht mehr gegeben; die Messungen sind dann schlecht reproduzierbar.

In Kapitel 4 geht es um die OTA Measurement Software R&S® AMS32. Damit lassen sich die manuellen Messungen von Kapitel 3 automatisieren. Darüber hinaus kontrolliert die AMS32-Software einen fernsteuerbaren 3-D-Positionierer, der für die Schirmkammer DST200 verfügbar ist. Dieser bringt ein DUT rechnergesteuert reproduzierbar in jede beliebige Raumlage in der Kammer, z.B. in die Richtung der maximalen Empfindlichkeit oder Störbeeinflussung.

---

<sup>1</sup> Werden die Antennen von Funksystemen (bezüglich der Wellenlänge) räumlich nahe beieinander stationär betrieben, spricht man allgemein von "Antenna-Collocation". Die In-Device Coexistence ist ein Spezialfall dieses Szenarios.

<sup>2</sup> OTA / Over-the-Air-Messungen: Messungen über die Luftschnittstelle

## 2 Fallbeispiele für Coexistence-Probleme

Das Hauptproblem jeder In-Device Coexistence liegt darin, dass die Emissionen der Antenne oder von Teilen des Antennenspeisesystems des einen Radio Standards an der Antenne des anderen Systems noch sehr präsent sind. Wir konzentrieren uns im Folgenden auf das vorrangige Problem, dass das Sendesignal (TX) jeweils eines Funksystems (Interferer) den Empfänger (RX) des jeweils anderen Funksystems (Victim) direkt stört.<sup>3</sup>

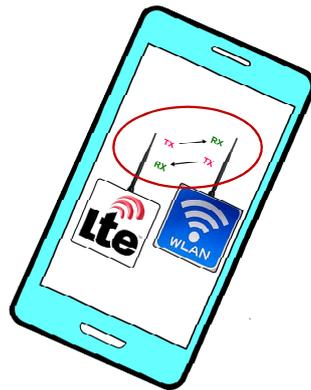


Fig. 2-1: In-Device Coexistence z.B. von LTE und WLAN in einem Smartphone

Die Kopplung zwischen den betreffenden Antennen (Antenna Isolation) entspricht näherungsweise der Freifelddämpfung  $a$ . Diese beträgt bei einem Abstand von beispielsweise 5 cm bei 2.4 GHz ca. 15 dB, bei 5.5 GHz ca. 20 dB, siehe Fig. 2-2.

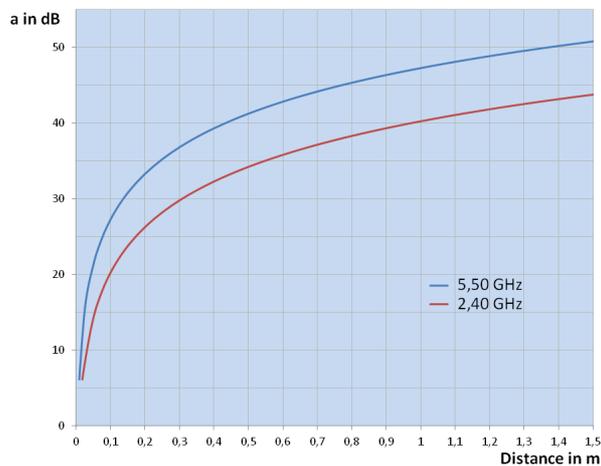


Fig. 2-2: Freifelddämpfung  $a$  zwischen zwei Antennen bei 2,4 GHz und 5,5 GHz

Das heißt, ein Sendesignal von +10 dBm bei 2.4 GHz an Antenne 1 erscheint an einer räumlich gleich ausgerichteten Antenne 2 in 5 cm Abstand noch mit ungefähr -5 dBm.

<sup>3</sup> Weitere Effekte wie das Auftreten unerwünschter Mischprodukte, die Rückwärtsmischung sowie Inter- und der Kreuzmodulation werden hier nicht berücksichtigt.

(Dies gilt nur bei Antennen mit jeweils 0 dBi Gewinn. In der Praxis liegt der Pegel etwas niedriger, da das Antennen-Pattern durch den Einbau verändert ist.)

Das jeweils fremde TX-Signal erhöht am betroffenen Empfänger die Störleistung; damit verschlechtert sich das Verhältnis von Nutz- / Störleistung. Äußerlich betrachtet scheint dadurch die RX-Sensitivity zurückzugehen: man spricht von "Desensitization". Als Bewertungskriterium dient zunächst - wie bei den üblichen Sensitivity-Tests - die Bit-Error, die Block Error oder die Packet Error Rate.

Die genannten ungünstigen Verhältnisse treten in erster Linie in den folgenden Szenarien auf:

- Die beiden Funkssysteme belegen benachbarte Frequenzen; es kommt zu Einstrahlungen (Carrier Leakage).
- Die Oberwellen eines Senders fallen auf Frequenzen, die das andere System verwendet.
- Die beiden Funkssysteme belegen die gleichen Frequenz-Bänder.

Bei einem unbekanntem Gerät, das untersucht werden soll, sind also zunächst die o.g. Szenarien abzufragen. Daraus leitet sich direkt ab, bei welchen Frequenzen vordringlich gemessen werden muss.

Zwar gibt es in den zellularen und nicht-zellularen Standards Grenzwerte für die vom Prüfling ausgehenden unvermeidlichen Emissionen außerhalb der Betriebsfrequenzen. Ebenso muß eine gewisse Übersteuerungsfestigkeit gegen Fremdsignale von "außen" garantiert sein. Beides wird von handelsüblichen Geräten sicher erfüllt, wenn sie einen Conformance Test durchlaufen haben (z.B. "WiFi-Certified"). Jedoch überschreiten die bei der In-Device Coexistence auftretenden tatsächlichen System-fremden Signale die in den jeweiligen Conformance-Tests genannten maximalen Interferer-Pegel erheblich. Die resultierenden Empfangsbeeinträchtigungen zu beseitigen oder wenigsten abzumildern, liegt in der Eigenverantwortung der Gerätehersteller.

Darüberhinaus begegnen wir dem allgemeinen Problem, dass der hohe Störpegel zu einer Übersteuerung des Empfängers führen kann (Blocking).

RX-Blocking unterscheidet sich von den drei vorher genannten Situationen dadurch, dass die Störungen wenig frequenzabhängig sind. Dabei handelt es sich um eine reine Übersteuerung des RX-Vorverstärkers und / oder Mischers. Das starke Interferer-Signal "belegt" dabei die Kennlinie voll; es bleibt quasi kein Platz mehr für ein schwaches Nutzsignal.

Da bei Smartphones ein gleichzeitiger Betrieb von zellularen und nicht zellularen Standards häufig vorkommt, wird in dieser Application Note beispielhaft das Zusammenspiel von LTE und Bluetooth® mit WLAN untersucht. Dabei beschränkt sich die Betrachtung exemplarisch auf den Einfluss von LTE und Bluetooth® als Interferer auf WLAN als Victim. Die in diesem Papier dargestellten Überlegungen werden dem Leser aber auch beim Entwurf komplementärer wie verwandter Tests dienen können.

Im Allgemeinen stören sich unterschiedliche Funkstandards stets gegenseitig. Daher muss in der Praxis auch immer die jeweilige "Gegenrichtung" untersucht werden.

## 2.1 Einstrahlungen in benachbarte Kanäle

An den beiden Grenzen des 2.4 GHz ISM-Bands sind Einstrahlungen in benachbarte Funkbänder sehr wahrscheinlich (Carrier Leakage).

Im lizenzfreien ISM Band arbeiten neben anderen Funkdiensten das viel benutzte WLAN und Bluetooth®. Das LTE-Band 40 grenzt sehr dicht ans untere Bandende. Am oberen Ende folgt das LTE-Band 7, wenn auch mit etwas mehr Abstand, siehe Fig. 2-3:

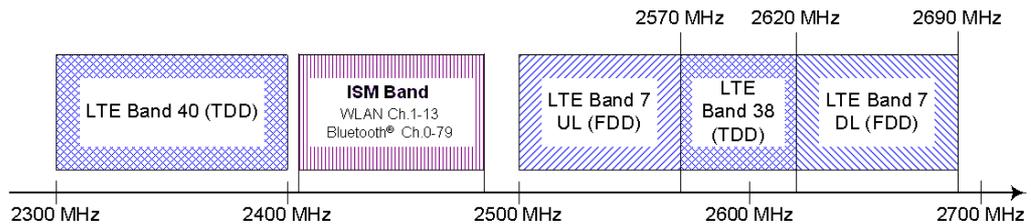


Fig. 2-3: Das 2.4 GHz ISM-Band und die angrenzenden LTE-Bänder

Betrachten wir zunächst die Pegel bei einer Coexistence von LTE und WLAN z.B. in einem Smartphone. LTE sei der Interferer, WLAN der Victim.

Der maximale LTE-Sendepegel eines Mobiltelefons beträgt 23 dBm. Bei einer Entkopplung der Antennen (Antenna Isolation) von 15 dB ergeben sich an der benachbarten WLAN-Antenne noch +8 dBm. Der aktuelle WLAN-Reference Sensitivity Level (abhängig von Bandbreite und Modulation) betrage hier beispielsweise -80 dBm. Um den LTE-Anteil um 6 dB unter dem WLAN-Reference Sensitivity Level zu halten, dürften die Out-Of-Band Emissions -86 dBm, d.h. -94 dBc, nicht überschreiten. Das ist unrealistisch; der ETSI Standard [5] fordert nur 20 dBc Abstand.

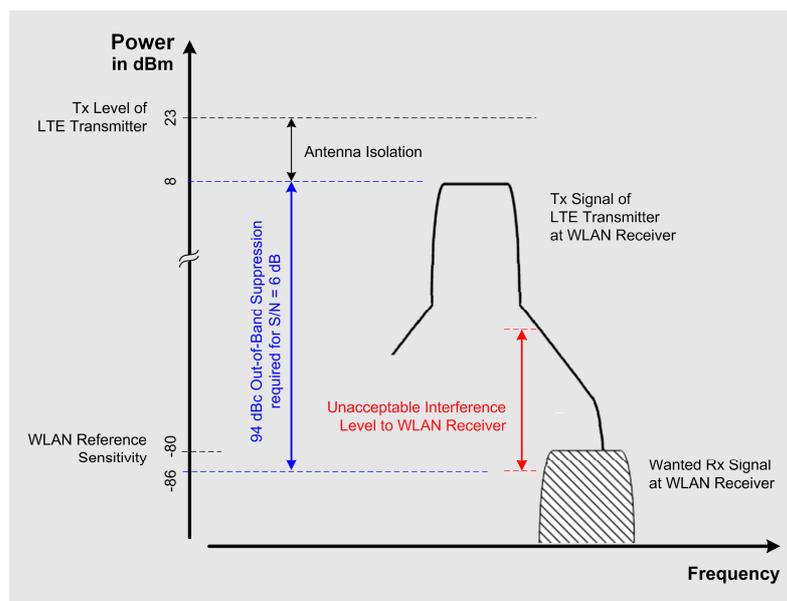


Fig. 2-4: In-Device Pegelstudie für die Interferenz zwischen LTE-TX und WLAN-RX

In wieweit der WLAN-Empfang aber tatsächlich gestört wird, können nur Messungen zeigen. Denn es kommt auch darauf an, wie groß die Antennenentkopplung wirklich ist, und mit welcher LTE-Signalleistung tatsächlich gesendet wird. Zudem arbeiten sowohl LTE in Band 40 als auch WLAN - nicht miteinander korreliert - im Time Division Duplex (TDD). D.h., es kann sich günstig auswirken, dass die jeweiligen Sende- und Empfangsfenster sich nur zeitweise überlappen, vor allem, wenn dies in einem Chipset koordiniert so sichergestellt wird.

## 2.2 Störungen durch Oberwellen in Nutzbändern

Zahlreiche dritte Harmonische der Uplink-Signale von LTE-Mobiltelefonen fallen genau auf WLAN-Kanäle im 5 GHz ISM-Band<sup>4</sup>, siehe Fig. 2-5. Die auftretenden Oberwellen fallen über die kurze Antennendistanz oft nicht ausreichend ab.

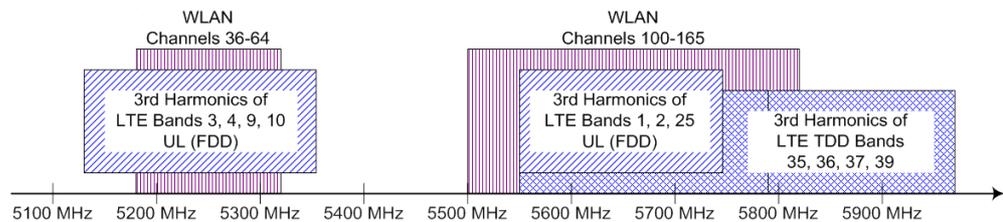


Fig. 2-5: LTE-Oberwellen im 5 GHz ISM-Band

Für diese Situation zeigt Fig. 2-6 die Pegelverhältnisse (wieder) zwischen einem LTE-TX und einem WLAN-RX bei den maximal zulässigen Grenzwerten:

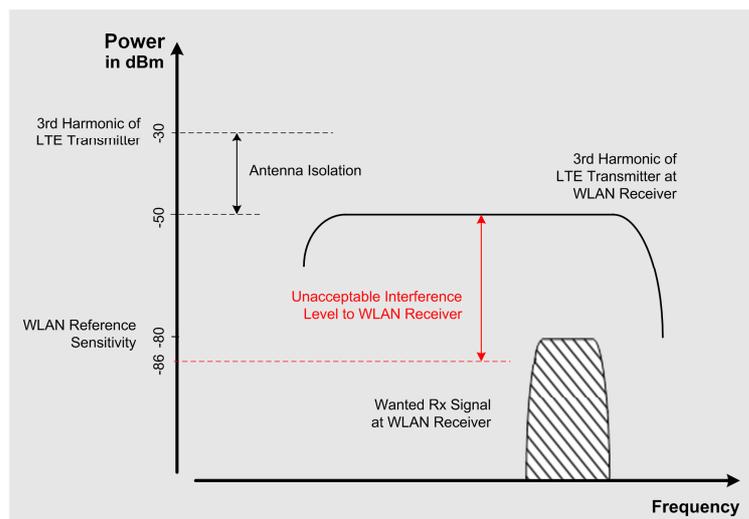


Fig. 2-6: In-Device Interference durch LTE-Oberwellen

<sup>4</sup> Industrial / Scientific / Medical-Band

Laut LTE-Standard TS 36.101 [1] sind zwischen  $1 \text{ GHz} \leq f < 12.75 \text{ GHz}$  Out-of-Band-Emissions bis zu  $-30 \text{ dBm}$  zulässig. Bei einer angenommenen Entkopplung der Antennen von  $20 \text{ dB}$  (hier etwas höher wegen der höheren Frequenzen) ergeben sich im Worst Case  $-50 \text{ dBm}$  am WLAN-Empfänger. Dieser Wert liegt um  $30 \text{ dB}$  über dem WLAN Reference Sensitivity Pegel (für  $1 \text{ Mbit/s}$ ) von ca.  $-80 \text{ dBm}$ . Da LTE in den genannten Bändern im Frequency Division Duplex arbeitet, sind die störenden Oberwellen permanent präsent.

Jedoch liegen bei modernen DUTs die harmonischen Abstrahlungen meist deutlich unter den zulässigen Grenzwerten. In wieweit der WLAN-Empfang also tatsächlich gestört wird, können wieder nur Messungen herausfinden.

## 2.3 Identische Frequenzbereiche

Bluetooth® und WLAN 802.11b und 802.11g arbeiten beide unkorreliert im  $2.4 \text{ GHz}$  ISM-Band, in der Regel an einer gemeinsamen Antenne.

Bluetooth® verwendet Frequency Hopping im  $1 \text{ MHz}$ -Raster von  $2402 \text{ MHz}$  bis  $2480 \text{ MHz}$ . Die Bandbreite beträgt  $1 \text{ MHz}$ .

WLAN verwendet feste Frequenzen. Der unterste WLAN-Kanal (Channel 1) hat die Mittenfrequenz  $2412 \text{ MHz}$ , der oberste Kanal in Europa (Channel 13) die Mittenfrequenz  $2472 \text{ MHz}$ .

Für die Mittenfrequenzen gilt

WLAN Channel 1	$\triangleq$	$2412 \text{ MHz}$	$\triangleq$	Bluetooth® Channel 11
WLAN Channel 2	$\triangleq$	$2417 \text{ MHz}$	$\triangleq$	Bluetooth® Channel 16

usw.

Bluetooth® und WLAN treffen also theoretisch tatsächlich zeitweise auf denselben Frequenzen zusammen; eine starke gegenseitige Beeinträchtigung scheint zunächst unausweichlich. Jedoch verfügt Bluetooth® über einen intelligenten Hopping-Mechanismus (Adaptive Frequency Hopping AFH), der belegte Frequenzen meiden kann. WLAN andererseits hört zunächst die benötigte Frequenz ab und wartet ggf. mit dem Senden, bis der Kanal frei ist. Die tatsächlichen Beeinträchtigungen können wieder nur Messungen herausfinden.

Im "Test Plan for RF Performance Evaluation of Wi-Fi Mobile Converged Devices" der CTIA [2] findet man eine umfangreiche Tabelle mit Frequenz-Kombination, die gegebenenfalls abzu prüfen sind. Diese Tabelle enthält (nur) detaillierte Frequenzen von Funkstandards, die den WLAN-Verkehr stören könnten. Die Tabelle kann als Grundlage herangezogen werden, um vorab zu klären, welche Messungen bei einer gegebenen Kombinationen von Systemen unbedingt durchgeführt werden müssen.

## 2.4 Desensitization (Eigenstörungen)

Messungen der In-Device Coexistence ermitteln die Desensitization, d.h. die Reduzierung der RX-Sensitivity eines DUTs in der Anwesenheit eines starken Interferer-Signals. Der Tester erfasst dabei im Allgemeinen die Anzahl der Übertragungsfehler, bei WLAN die Packet Error Rate *PER*.

Die blaue Kurve in Fig. 2-7 zeigt einen typischen PER-Verlauf bei WLAN ohne Interferer-Einfluss. Sinkt das RX-Signal unterhalb eines bestimmten Werts, steigt die Packet Error-Rate stark an.

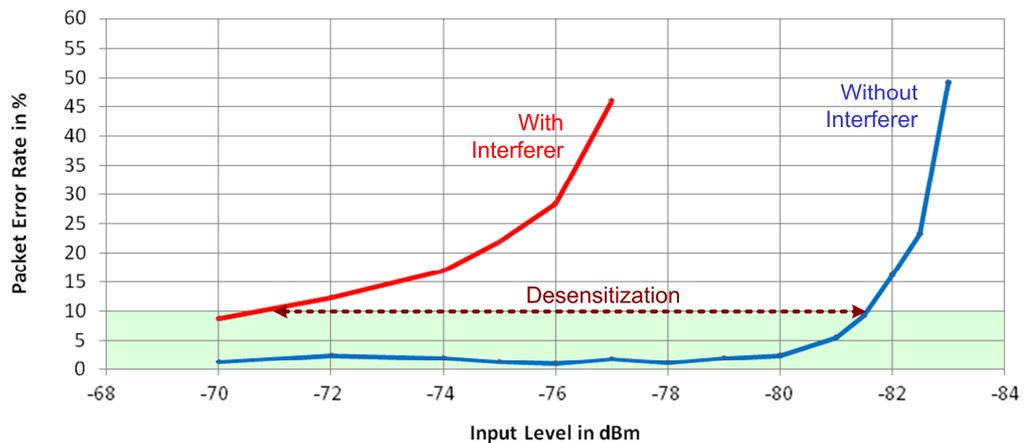


Fig. 2-7: Typischer PER-Verlauf ohne und mit Interferer (WLAN 802.11g, 20 MHz Bandwidth)

Addiert man nun am RX-Input des DUTs zusätzlich z.B. ein zelluläres Interferer-Signal, wird die blaue Kurve gleichsam nach links verschoben; in einem konkreten Mess-Szenario ergab sich der rote Verlauf.

Um die Verschlechterung der RX Sensitivity herauszufinden, ermittelt man - zunächst ohne Interferer, bei welchem RX Input Pegel sich eine PER = 10% einstellt<sup>5</sup>. Der hierzu erforderliche Pegel wird als Receiver Sensitivity bezeichnet [2] oder als Intermediate Sensitivity Level. Damit wird klar, dass es sich hierbei um eine individuelle Größe handelt, die sich tatsächlich von DUT zu DUT um einige dB unterscheiden kann.

In Anwesenheit eines starken Interferers benötigt man einen deutlich höheren Receiver Input Level, um die gleiche PER = 10 % zu erzielen. Man bezeichnet diesen Eingangs-Pegel auch als Effective Intermediate Sensitivity Level EIS.

Die Desensitization berechnet sich aus folgender Differenz:

"10 %-PER-Pegel" mit Interferer (EIS) minus "10 %-PER-Pegel" ohne Interferer
--

<sup>5</sup> Bei den Mobilfunk-Conformance-Tests wird umgekehrt vorgegangen. Zum Überprüfen der RX-Sensitivity definiert man abhängig von bestimmten Test-Parametern jeweils einen festen Reference Sensitivity Power Level. Dieser beträgt z.B. -100 dBm für LTE in EUTRA-Band 1 bei 5 MHz Bandbreite [5]. Bei diesem Reference Sensitivity Level sind Limits einzuhalten, d.h. bestimmte Block Error-Raten dürfen nicht überschritten bzw. ein bestimmter Throughput nicht unterschritten werden.

oder, mit anderen Worten:

Effective Intermediate Sensitivity Level minus Intermediate Sensitivity Level

In [Fig. 2-7](#) ist beispielsweise für PER = 10 % ohne Interferer ein RX-Eingangssignal (Nutzsignal) von -81.5 dBm erforderlich. D.h., der Intermediate Sensitivity Level beträgt -81.5 dBm.

Mit einem bestimmten zusätzlichen Interferer-Signal braucht man für PER = 10 % hier hingegen ca. -71 dBm Nutzsignal-Pegel. D.h., der Effective Intermediate Sensitivity Level EIS beträgt -71 dBm. Die Desensitization in [Fig. 2-7](#) berechnet sich demnach zu

$$-71 \text{ dBm} + 81.5 \text{ dBm} = 10.5 \text{ dB.}$$

Die Desensitization ist abhängig von der Feldstärke des Interferers an der Antenne des Victims. Es ist möglich, dass bei bestimmten Frequenzen am gestörten System - selbst bei reduzierter Sendeleistung des Interferers - am Victim keine Verbindung aufrecht zu halten ist. Die Messungen der Desensitization müssen dann mit geringeren Interferer-Signalen beginnen.

### Wideband Radio Communication Tester CMW500

Die Messungen der Desensitization werden in dieser Application Note mit dem Wideband Radio Communication Testers CMW500 durchgeführt.

- ▶ Grundkenntnisse in der Gerätebedienung werden dabei vorausgesetzt. Es sind jedoch keine Spezialistenkenntnisse erforderlich.

Für die Desensitization-Messungen etabliert man mit dem CMW zunächst eine Funkverbindung (Duplex-Verbindung) zum Victim. Dies erfolgt über den ersten Kanal des CMW, den Messkanal. Es soll die Desensitization eines WLAN-DUTs ermittelt werden. Beginnend mit zunächst hohem, dann stufenweise reduziertem Nutzsignal ohne Interferer misst man also die ansteigende PER und notiert als (Intermediate) Reference Sensitivity den RX Input Level bei PER = 10% [2]. Anschließend erhöht man am Tester das WLAN-Eingangssignal um ca. 30 dB, um die Verbindung im später gestörten Betrieb nicht abbrechen zu lassen.

Jetzt wird der Interferer mit definierter Frequenz und Power aktiviert. Dies erfolgt über den zweiten Kanal des CMW. Beginnend mit zunächst hohem, dann stufenweise reduziertem Nutzsignal misst man erneut die PER des Victim. Der RX Input Level bei einer PER von 10% ist die Effective Intermediate Sensitivity EIS. Die Differenz aus EIS und (Intermediate) Reference Sensitivity liefert die Desensitization.

Bei der Bedienung des CMW werden alle Prozesse, die gleichzeitig abzuwickeln sind, als "Task" bezeichnet.

Alle Messungen erfolgen im Signaling Mode, d.h. die Funkverbindungen zwischen dem Tester CMW und dem DUT werden über die Luftschnittstelle aufgebaut und kontrolliert (nicht über Steuerkabel und Testanschlüsse).

So benötigt man im Folgenden immer die *WLAN Signaling*-Task (für den Victim) und die *LTE* bzw. die *Bluetooth® Signaling*-Task (für den jeweiligen Interferer).

Den Rückgang der *WLAN-RX-Sensitivity* misst man mit der *Packet Error Rate-Task WLAN PER*.

Der Interferer wird vom entsprechenden TX-Signal des DUTs repräsentiert. Damit der Interferer kontinuierlich sendet, startet man am CMW die *LTE TX Meas.*-Task.

Fig. 2-8 zeigt die Taskleiste des CMW für die Messungen mit LTE als Interferer. An der gelben Kennzeichnung erkennt man, dass hier vier Tasks gleichzeitig aktiv sind:



Fig. 2-8: Aktive Tasks für eine In-Device Coexistence-Messung

Die blaue Farbe der Softkey *WLAN PER* zeigt an, dass diese Task im Vordergrund läuft, d.h. z.B., dass sie den gesamten Bildschirm in Anspruch nimmt.

(Mit den beiden - hier nicht aktiven - Tasks *LTE Ext. BLER* und *WLAN Multi Eval.* kann man ggf. die Signale und Eigenschaften des DUTs tiefergehend analysieren.)

### Datendurchsatz (Throughput)

Messungen des absoluten Throughputs sind zur Charakterisierung der Desensitization weniger geeignet, da unterschiedliche DUTs möglicherweise unterschiedliche Korrektur-Algorithmen verwenden. Dann lassen sich die Ergebnisse nicht mehr direkt vergleichen. Messungen des relativen Throughputs, also der Vergleich der Situation mit oder ohne Interferer, können dagegen eine wichtige Figure of Merit (FOM) sein. Denn WLAN verfügt über einen Mechanismus zur Kollisionsvermeidung (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, CSMA / CA). Wird der Funkkanal als belegt detektiert, wartet der WLAN-Sender ab, bis eine Freigabe erfolgt. Auf diese Weise bleibt die PER unverändert, der Throughput jedoch geht zurück.

Folgende grobe Zuordnung existiert für die Desensitisation und den Throughput (bei WLAN / OFDM am Reference Sensitivity Pegel):

Desensitization	Throughput
0 ... 10 dB	100 % ... 50 %
10 ... 20 dB	50 % ... < 10 %
20 ... 30 dB	... 0 %

**Table 2-1: Desensitization und Throughput**

Table 2-1 vermittelt, dass bei einer Desensitization über 20 dB praktisch kein Funkverkehr mehr möglich ist. Dies gilt aber nur für ein Eingangssignal mit dem minimalen Reference Sensitivity Pegel.

Richtig ist, dass sich (lediglich) die RX-Empfindlichkeit um 20 dB verschlechtert hat. Bei Nutzsignalen, die um deutlich mehr als 20 dB über der Reference Sensitivity des DUTs liegen, gibt es möglicherweise keine Beeinträchtigung. Eine Desensitization über 30 dB kann allerdings in der Praxis meist nicht mehr toleriert werden, wenn das Nutzsignal im mobilen Einsatz noch Feldstärke-Einbrüchen unterworfen ist.

## 3 Messungen

### 3.1 Over The Air-Messungen (OTA)

HF-Messanschlüsse jeglicher Art am DUT würden den elektrischen Abschluss der HF-Bausteine im Antennenspeisesystem sowie die Ausbreitungsbedingungen und damit auch die gegenseitige Beeinflussung der zu untersuchenden Funksysteme verändern. Alle Messungen der In-Device Incoexistence erfolgen daher über die "Luftschnittstelle" (OTA) in einer geschlossenen Schirmkammer. Diese schirmt auch andere Signal z.B. von im Raum installierten WLAN-Access-Points ab.

Messungen über die Luftschnittstelle erfordern sorgfältige Einstellungen. Bei den Coexistence-Messungen sind zwei Funkverbindungen zu kontrollieren:

- Die HF-Pfaddämpfung ist erheblich höher als bei leitungsgebundenen Messungen.
- OTA-Messergebnisse sind nicht nur von der Entfernung, sondern hauptsächlich von der Positionierung des DUT zur Messantenne abhängig.

#### Reproduzierbarkeit:

In der Praxis muss das DUT während einer Messreihe mehrmals aus der Schirmkammer genommen werden. Dies kann nötig sein, um nach einem Zusammenbruch eine Funkverbindung manuell neu aufzubauen. Danach soll das DUT wieder genau in der ursprünglichen Position plaziert werden.

Reproduzierbarkeit bei Coexistence-Messungen bedeutet aber nicht, dass der Messpfad exakt kalibriert sein muss. Wichtig ist nur, dass bei Pegeln um die Reference-Sensitivity-PER (10 %) stabil gemessen werden kann. Bei nicht genau kompensierter Pfaddämpfung tritt eine PER von z.B. 10 % bei scheinbar anderen Werten auf als dem erwarteten Reference Sensitivity Pegel. Das ist unkritisch, denn der Einfluss der Pfaddämpfung verschwindet bei der Berechnung der Desensitization:

$$(EIS + Pfaddämpfung) \text{ minus } (Reference\ Sensitivity + Pfaddämpfung) = \\ EIS \text{ minus } Reference\ Sensitivity.$$

Da die Anordnung der Antennen im DUT zueinander unverändert bleibt, ist die gegenseitige Einstrahlung und damit die Desensitization prinzipiell unabhängig von der Position des DUTs in der Messkammer. (Dies gilt, solange keines der getesteten Subsysteme autonom eine aktive oder passive Veränderung der Antennencharakteristik vornimmt.) Es muss also nur stets die gleiche Position zur Messantenne eingehalten werden. Da mit geringen Signalpegeln gearbeitet wird, empfiehlt es sich, die Position zu suchen, bei dem der Pegel des DUT-Nutzsignals am stärksten vom Tester empfangen werden kann.

Zum Betrieb des Interferers, d.h. des TX-Signals des 2. Funksystems im DUT (Rücksignal), muss der Tester das entsprechende Vorwärts-Signal in die Schirmkammer liefern. Eine genaue Kalibrierung dieses Interferer-Pfades ist ebenso nicht gefordert. Es geht nur darum, dass das Signal vom DUT gut empfangen werden kann. (Auch müsste der Interferer-Pfad nicht sehr genau reproduzierbar sein. Dies wird aber durch die fixe Position des DUT automatisch erzielt.)

### **Abstand des DUTs von der Messantenne**

Nach den Messvorschriften für WLAN wäre für OTA-Messungen bei den verwendeten Frequenzen ein Mindestabstand von ca. 1.20 m zwischen DUT und Messantenne einzuhalten [3]. Dies ist tatsächlich aber nur bei drei-dimensionalen Messungen für die WiFi-Zertifizierung erforderlich.

Da die Gestaltung des Messpfades die gegenseitigen Einstrahlungen der Funksysteme im DUT nicht beeinflusst, kommt man mit deutlich geringeren Messabständen zurecht. Es ist aber einerseits darauf zu achten, dass unter sogenannten Fernfeldbedingungen gemessen wird. Dies ist in etwa erreicht ab einer Messdistanz größer als  $2 \pi / \lambda$ , d.h. bei 2.4 GHz ab ca. 5 cm. Zum anderen soll das elektrische Feld der ausgestrahlten Funkwellen bereits möglichst homogen sein. Dies wird ab ungefähr dem dreifachen Minimalabstand, also ab ca. 15 cm, recht gut eingehalten.

Ein geringer Messabstand hat folgende Vorteile:

- Eine kleinere kostengünstige Schirmkammer ist verwendbar.
- Wegen des geringen Platzbedarfs können die Messungen meist an einem Arbeitsplatz im Entwicklungslabor durchgeführt werden.
- Die HF-Dämpfung des Messpfades ist weitaus geringer als bei großem Abstand von DUT und Antenne. Deshalb muss das Mess-Equipment deutlich weniger HF-Leistung liefern.

Bei zu kleinen Kammern misst man im Nahfeld: DUT und Messantennen beeinflussen sich gegenseitig, und bereits geringe Positionsveränderungen führen zu erheblichen Abweichungen der Messergebnisse. Das heißt, die Messungen sind schlecht reproduzierbar.

Die RF Diagnostic Chamber R&S® DST200, die in dieser Application Note verwendet wird, bietet für diesen Anwendungsfall alle genannten Vorteile:

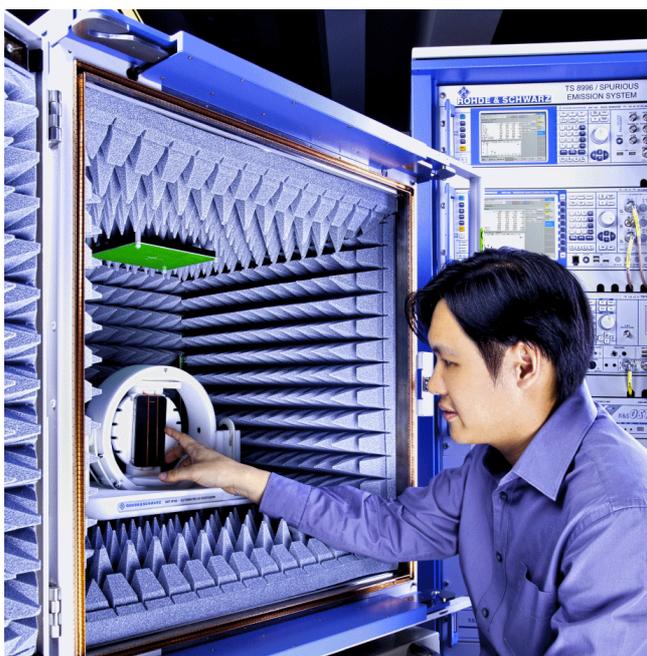


Fig. 3-1: Diagnostic Chamber DST200 im Einsatz

Die wichtigsten Eigenschaften dieser Schirmkammer DST200:

- Mit einem Einsatzbereich von 700 MHz bis 6 GHz in der Standardausführung deckt die DST200 alle wichtigen Funkstandards ab. (Der Frequenzbereich ist auf 300 MHz bis 18 GHz erweiterbar.)
- Das hohe Schirmmaß  $> 110$  dB ermöglicht einstrahlungsfreie Messungen auch für äußerst niedrige Signalpegel (z.B. für GPS-Empfänger).
- Nahezu Freifeld-Bedingungen bei der Testposition minimieren die parasitäre Belastungen und eine eventuelle dadurch bedingte Verstimmung der DUT-Antenne.
- Umfangreiches Zubehör (verschiedene Test-Antennen, Feedthrough Panels, Schaltmatrix, Verstärker) wird allen Anforderungen gerecht.

Insbesondere gibt es verschiedene Halterungen für das DUT. Fig. 3-2 zeigt beispielsweise den manuellen 3D Positioner. Mit zwei beschrifteten Rotations-Achsen lässt sich jede beliebige Raumlage eines DUTs reproduzierbar einrichten. Die Bauweise der Halterung ist offen, so dass die Bedienelemente des DUT (Knöpfe, Schalter, Touchscreen) zugänglich bleiben.

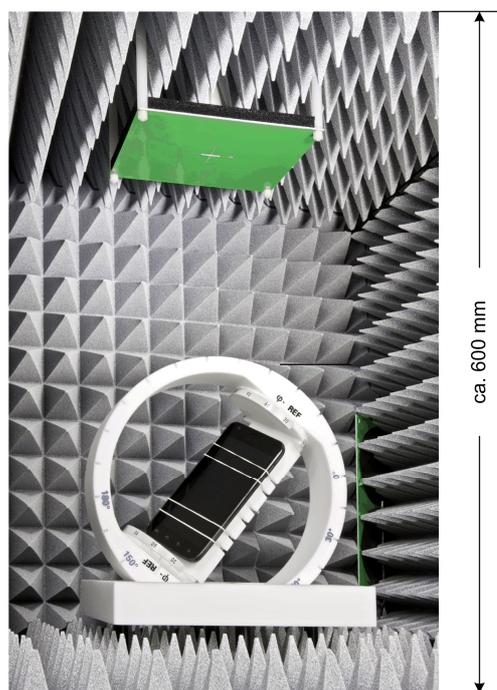


Fig. 3-2: Manual Positioner der Diagnostic Chamber DST200

### Antennen und Antennen-Polarisation:

Die grüne Leiterplatte oben in Fig. 3-2 stellt die Messantenne DST-B210 dar. Hierüber erfolgen die PER-Messungen am Victim. In der unteren Bildhälfte erkennt man in der Ecke der Kammer (stehend) eine der beiden sogenannten Kommunikationsantennen DST-B272. (Die zweite befindet sich hinter dem Positionierer.) Beide Kommunikationsantennen unterhalten die Funkverbindung mit dem Interferer.

Da an der Empfindlichkeitsgrenze des DUTs gemessen wird, kommt es darauf an, eine möglichst niedrige Pfaddämpfung zwischen dem DUT und der Messantenne herzustellen. Dies erzielt man im Allgemeinen mit einer waagrechten Position der Halterung.

Die Messantenne DST-B210 im Oberteil der Kammer (Fig. 3-2) enthält zwei linear polarisierte Antennen. Von außen können über getrennte N-Anschlüsse jede der beiden Polarisationsrichtungen gewählt werden: "FB" (Front-Back) für Polarisation von der Vorder- zur Rückseite der DST200 und "LR" (Left-Right) für die Querrichtung.

Die Antennen im DUT für zellulare Funknetze (GSM, UMTS, LTE) sind ebenfalls meistens linear polarisiert. Sie befinden sich fast immer parallel zur Längs- oder der Querseite des Prüflings.

- ▶ Bringen Sie Ihr DUT zum Senden und probieren Sie, in welcher Position Sie einen optimalen Empfangspegel am Tester CMW500 erzielen. Der Unterschied zwischen bester und schlechtester Polarisierung beträgt typisch 13 dB!

Antennen für nicht-zellulare Netze (WLAN, Bluetooth) können zirkular polarisiert sein. Diese Signale werden von der linear polarisierten Messantenne in der Regel ebenso gut erfasst. Der Verlust bei einer Kombination von zirkularer Sendeantenne und linearer Empfangsantenne (und umgekehrt) beträgt nur ca. 3 dB. Bei einer zirkular polarisierten Antenne im DUT ist allerdings die Drehrichtung ausschlaggebend. Auch hier beträgt der Unterschied zwischen den Orientierungen typisch 13 dB. Für eine optimale Kopplung muss außerdem ggf. das DUT "Face-down" eingelegt werden.

Für die Interferer-Verbindung sind die Kommunikations-Antennen DST-B272 unten und rechts in der Schirmkammer vorgesehen. Diese Antennen sind in Kombination quasi-kreuz-polarisiert und erfassen unkritisch jedes angebotene Feld. Wichtig ist vor allem, dass im Kommunikationspfad keine Empfangsminima auftreten. Dafür muss die Pfaddämpfung bei der optimalen Mess-Position des DUT nicht minimal sein.

Eine Besonderheit bietet der Automated Positioner, siehe [Fig. 3-3](#) .

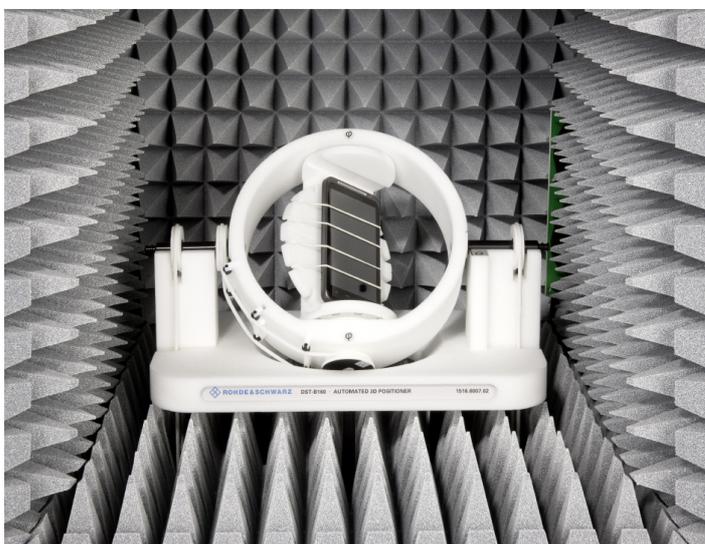


Fig. 3-3: Automated Positioner in der Diagnostic Chamber DST200

Zusammen mit der OTA Measurement Software AMS32 kann man hiermit das DUT ferngesteuert in jede Raumlage bringen. Insbesondere lassen sich beispielsweise die Positionen der maximalen oder minimalen Abstrahlung bzw. Empfangsempfindlichkeit programmgesteuert automatisch ermitteln.

(Die OTA Measurement Software AMS32 ist Thema des Kapitels [4](#) auf Seite [32](#) dieser Application Note.)

## 3.2 Messaufbau

[Fig. 3-4](#) zeigt einen ersten Test-Setup für die Desensitization-Messungen. Er ist vor allem bei geringen Kammer-Dämpfungen gut geeignet. Der Test Setup 1 kommt ohne

jegliche externe Komponenten aus. Dieser Aufbau wird in der vorliegenden Application Note für die WLAN-PER-Messungen im 2.4 GHz-Band verwendet.

Als Tester fungiert ein CMW500<sup>6</sup>. Dieser unterhält über RF Channels 1 und 2 gleichzeitig jeweils eine bidirektionale Funkverbindung.

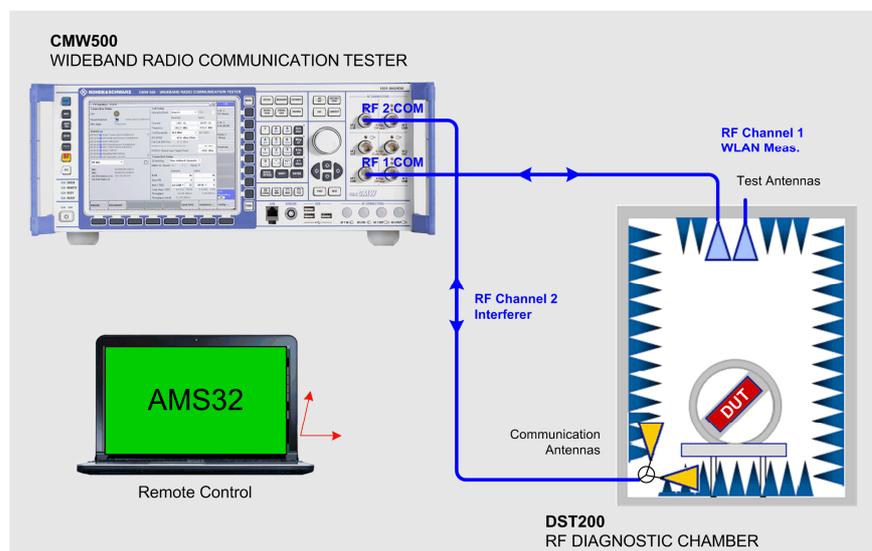


Fig. 3-4: Test-Setup 1 für Desensitization-Messungen

Der RF Channel 1 ist der Messkanal; hier wird später die WLAN Packet Error Ratio PER gemessen. Zwei Test-Antennen stehen zur Auswahl; die Polarisation ist jeweils linear, aber - Antenne gegen Antenne - um 90° versetzt.

Der RF Channel 2 ist der Interferer-Kanal (in dieser Application Note LTE- oder Bluetooth®). Genauer betrachtet stellt allein das LTE- oder Bluetooth® -Sendesignal im DUT den Interferer dar. Das (Downlink-) Signal des CMW im Interferer-Kanal ist nur erforderlich, um die Funkverbindung aufrecht zu erhalten. Um die WLAN-Messung nicht zu beeinflussen, sendet der CMW hier mit geringer Leistung. Für den Interferer sind in der Schirmkammer in Fig. 3-4 zwei unterschiedlich polarisierte sogenannte Communication Antennas zusammengeschaltet, um Minima im Antenna-Pattern bei bestimmten Lagen des DUTs zu vermeiden.

Für ferngesteuerte Messungen gibt es die OTA Measurement Software AMS32. Diese steuert einerseits den CMW, andererseits die Position des DUT in der Schirmkammer. In Fig. 3-4 soll diese Kontrolle durch den skizzierten PC und die davon ausgehenden roten Pfeile angedeutet werden.

Fig. 3-5 zeigt einen zweiten, erweiterten Test-Setup. Hier ist der Messpfad von RF Channel 1 aufgeteilt für die Richtungen von und zum DUT.

RF 1 OUT dient jetzt als TX-Port, RF 1 COM nur noch ausschließlich als RX-Port. Je nach Bedarf kann man dadurch in den Pfad zum DUT oder den Pfad zum CMW oder

<sup>6</sup> Fig. 3-4 zeigt einen CMW mit Basic Frontend. Für alle Messung eignet sich ein CMW mit Advanced Frontend in gleicher Weise.

(wie in Fig. 3-5) in beide Richtungen Verstärker einsetzen, um die Kammerdämpfung teilweise zu kompensieren.

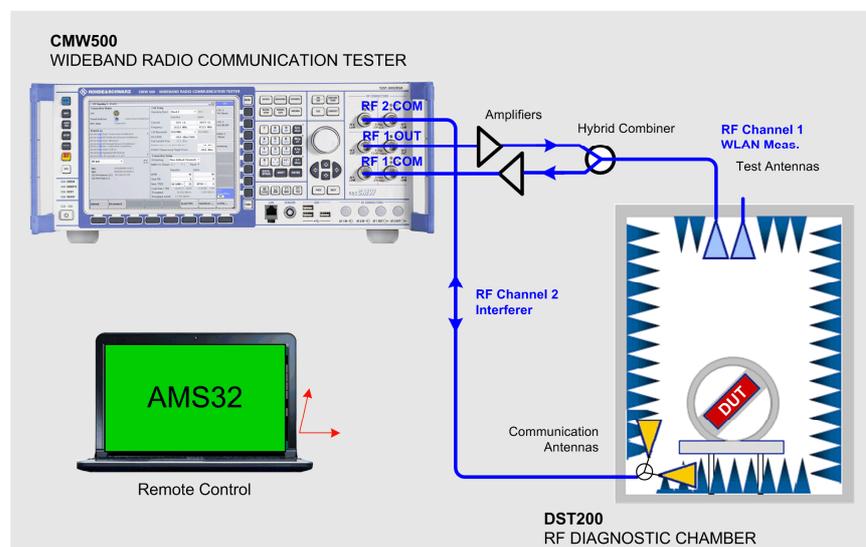


Fig. 3-5: Test-Setup 2 für Desensitization-Messungen

Dieser Aufbau empfiehlt sich bei höheren Kammerdämpfungen, z.B. bei höheren Frequenzen. Bei 5 GHz liegen die OTA-Pfadverluste um ca. 6 bis 10 dB über der Dämpfung bei 2 GHz. Der Test-Setup 2 wird daher in der vorliegenden Application Note für PER-Messungen im 5 GHz-Band verwendet<sup>7</sup>.

Speziell für Messsysteme bietet Rohde & Schwarz die Switching Unit R&S®OSP-B151 an. Diese kann für OTA-Messungen mit bis zu vier Verstärker-Modulen ausgerüstet werden, jeweils mit typ. 33 dB Gain im Bereich von 700 MHz bis 6 GHz.

Der CMW ist ausgestattet mit den jeweiligen Optionen für die verwendeten Radio Access-Technologien. Dadurch lassen sich mit den Test-Setups 1 und 2 alle gebräuchlichen Kombinationen von zellularen und nicht-zellularen Funkstandards bedienen und potenziell auftretende Coexistence-Probleme ausmessen. Test-Setup 1 und 2 entsprechen den Vorschlägen des CTIA OTA Teststandards [2].

Die Steuerung des DUTs durch den CMW erfolgt in einem Testmode. Für zellulare Mobiltelefone legt man dazu eine spezielle Test-SIMs ein. Diese kann beispielsweise von Rohde & Schwarz bezogen werden. Bei nicht-zellularen Standards gibt es Hersteller-spezifische Möglichkeiten. Jedoch lassen sich insbesondere nicht (mehr) alle Bluetooth®-Module von außen in den Testmode schalten. Daher wird bei den Messungen mit Bluetooth® in Kapitel 3.4.3 ein alternativer Weg beschrieben, um den Interferer im DUT zu aktivieren.

<sup>7</sup> Für die Messungen in dieser Application-Note kamen die Verstärker ZX60-V62+ (Mini Circuits) zum Einsatz.

### 3.3 Ermittlung der Pfaddämpfung

Auch, wenn die genaue Pfaddämpfung für die Berechnung der Desensitization unwesentlich ist, will man im Allgemeinen wissen, welche Pegel in etwa am DUT anliegen. Nur so kann man Über- und Untersteuerungen vermeiden, die die Funkverbindung zwischen DUT und Tester abreißen lassen.

Die folgenden Ausführungen gehen vereinfachend davon aus, dass die WLAN-Antenne im DUT ungefähr die gleichen Abstrahleigenschaften zeigt wie die LTE-Antenne. Da LTE-Mobilstationen ihre maximale Ausgangsleistung von 23 dBm recht genau einhalten, wird der WLAN-Messkanal mit dem LTE-Uplink-Signal und der LTE-Antenne ausgemessen. Um die Pfaddämpfung für die Messungen im 2.4 GHz-WLAN-Band zu ermitteln, verwendet man zweckmäßigerweise ein LTE-Signal im Band 7.

- Verkabeln Sie Ihren Messaufbau (Test-Setup 1 oder 2).

Die Ermittlung der Pfaddämpfungen vollzieht sich jetzt in drei Schritten.

#### 1. Kompensation des Messpfades

- Wählen Sie am CMW die *LTE-Signaling* Task, drücken Sie *Config*.
- Wenn Sie den Test-Setup 1 verwenden, schalten Sie sowohl den TX1-Pfad als auch den RX1-Pfad im CMW auf RF 1 COM. Bei Test-Setup 2 schalten Sie den TX1-Pfad auf RF 1 OUT und den RX1-Pfad auf RF 1 COM. Diese Einstellungen sind vorübergehend. (LTE wird später über RF Channel 2 betrieben. Dieser ist hier noch nicht aktiviert.)
- Stellen Sie als Anfangswert die External Output- und Input-Attenuation für RF1 am CMW auf 40 dB abzüglich der Verstärkung jeweils verwendeter Amplifier, siehe [Fig. 3-6](#).

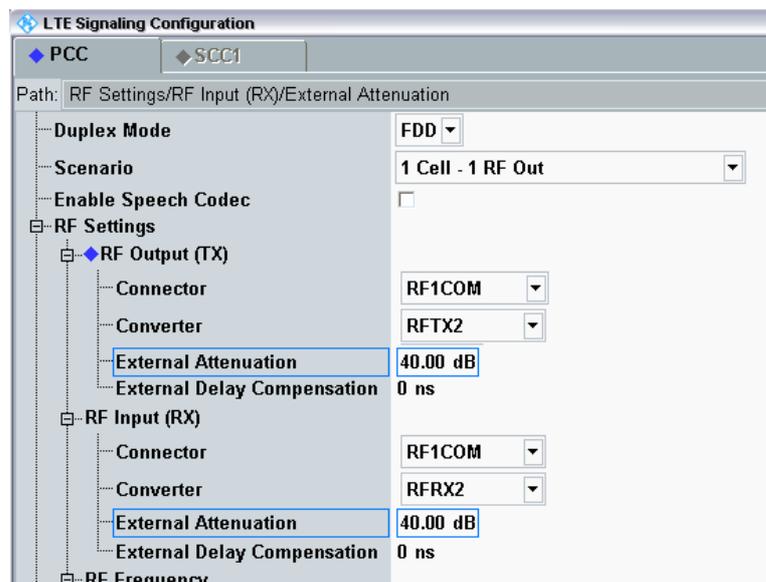


Fig. 3-6: erste geschätzte Pfaddämpfung (Test-Setup 1, ohne Verstärker)

- Bauen Sie eine LTE-Verbindung zwischen CMW und DUT auf. Stellen Sie die Uplink-Power des DUTs auf Maximum, siehe Fig. 3-7.



Fig. 3-7: Einstellen des DUTs auf maximale Uplink Power

- Starten Sie am CMW die Multi Evaluation Task.

Sie sehen die vom CMW empfangene TX-Power des DUTs im TX-Measurement Display, siehe Fig. 3-8 auf Seite 22.

- Bringen Sie das DUT in eine Position, in der der Empfangspegel am CMW maximal wird. Dies ist möglicherweise nicht die spätere WLAN-Messposition!

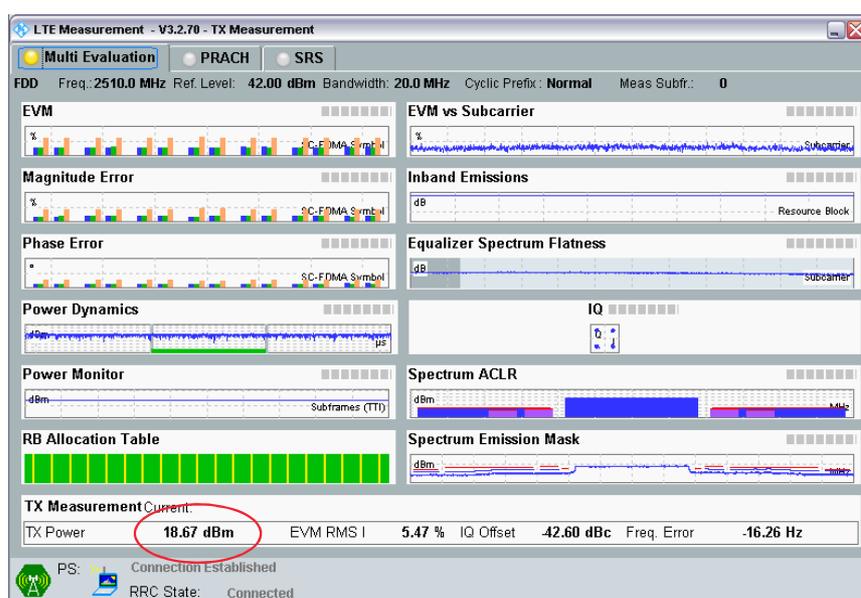


Fig. 3-8: Anzeige des LTE-Uplink-Pegels am CMW (Pfadkompensation noch nicht korrekt)

- Berechnen Sie einen Korrekturwert aus der jetzt im Measurement Display angezeigten TX-Power und der nominellen LTE-Power 23 dBm.

Beispiel:  $23 \text{ dBm} - 18.67 \text{ dBm} = 4.33 \text{ dB}$
- Korrigieren Sie am CMW die External Attenuation des Input-Pfads für RF1.

Im Beispiel betrug die zunächst eingestellte External Attenuation = 40 dB. Die neue Ext. Att. beträgt:  $40 \text{ dB} + 4.33 \text{ dB} = 44.33 \text{ dB}$

Modifizieren Sie am CMW die ext. Output-Dämpfung um den gleichen Korrekturwert. Die angezeigte TX-Power ist jetzt (nahezu) korrekt:

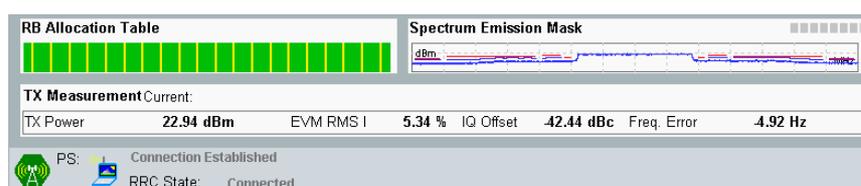


Fig. 3-9: Anzeige des LTE-Uplink-Pegels nach korrekter Pfadkompensation

- Beenden Sie die *LTE Multi Evaluation* und die *LTE Signaling Task*.

## 2. Übertragen der berechneten Werte auf die WLAN Settings

- Wählen Sie am CMW die *WLAN-Signaling Task*, drücken Sie *Config*.

- Wenn Sie den Test-Setup 1 verwenden, schalten Sie den TX1 und den RX1 im CMW auf RF 1 COM. Bei Test-Setup 2 schalten Sie den den TX1-Pfad auf RF 1 OUT und den RX1-Pfad auf RF 1 COM.
- Übertragen Sie die für LTE ermittelten Pfaddämpfungen auf WLAN.

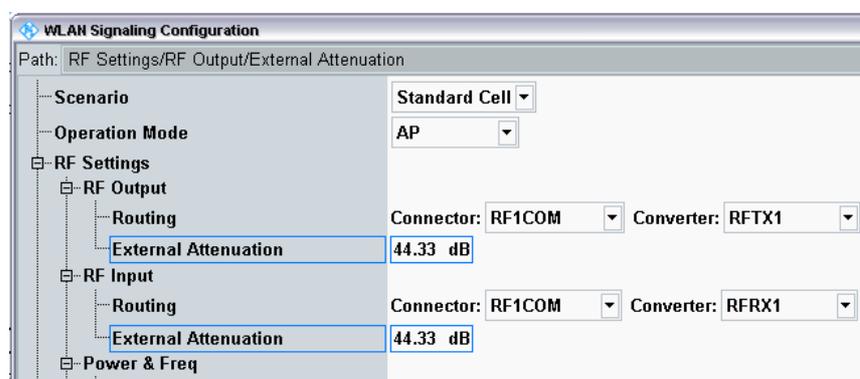


Fig. 3-10: Übertragen der LTE-Dämpfungen auf die WLAN-Configuration

Im Beispiel sind die Pfaddämpfungen für Output und Input gleich (Test-Setup 1).

- Bauen Sie eine WLAN-Verbindung zwischen CMW und DUT auf.
- Starten Sie am CMW die WLAN PER Task.
- Bringen Sie das DUT in eine Position, in der der Empfangspegel am CMW maximal wird. Diese ist die ab sofort immer verwendete optimale WLAN-Messposition!
- Beenden Sie die *WLAN PER* und die *WLAN Signaling Task*.

### 3. Kompensation des Communication-Pfades (DUT in der Messposition)

- Wählen Sie am CMW (wieder) die *LTE-Signaling Task*, drücken Sie *Config*.
- Schalten Sie den TX2 und den RX2 im CMW auf RF 2 COM.
- Stellen Sie als Anfangswert die ext. Output- und Input-Attenuation für RF2 COM am CMW auf 40 dB.
- Bauen Sie eine LTE-Verbindung zwischen CMW und DUT auf. Stellen Sie wieder die maximale LTE-Uplink-Power des DUTs (über die TPC-Kontrolle) ein.
- Starten Sie am CMW die Multi Evaluation Task.
- Berechnen und korrigieren Sie die Dämpfung des Communication-Pfades anhand des im CMW angezeigten Pegels.

Präzise gelten die eingestellten Offsets nur für die verwendete Frequenz (hier 2510 MHz) und das verwendete DUT. Da aber für die Berechnung der Desensitization keine exakte Pfaddämpfungen erforderlich sind, wird für die vorgesehenen Messungen im 5 GHz-Bereich nicht erneut kalibriert.

## 3.4 Messergebnisse

Die folgenden Kapitel zeigen Messergebnisse von modernen Smartphones. Gewählt wird je ein Beispiel aus den in Kapitel 2 aufgeführten vorhersehbaren Problem-Szenarios. (Diese Beschränkung soll aber keineswegs suggerieren, dass darüberhinaus bei den betrachteten DUTs keine weiteren Coexistence-Probleme mehr zu erwarten sind.)

In der Praxis muss zunächst im gesamten genutzten Frequenzbereich z.B. durch Bit- oder Packet-Error-Messungen geklärt werden, welche Störungen bereits ohne potenziellen Interferer vorhanden sind. Ursache dafür können Oszillator-Signale und deren Oberwellen, sowie System- und Rechner-Takte und deren Mischprodukte sein.

Bei den in diesem Kapitel vorgestellten Beispielen handelt es sich um manuelle Messungen. Die hier jeweils gemessene Desensitization eines Telefonmodells ist nicht automatisch auf andere Modelle übertragbar. Es gibt zu viele individuelle Besonderheiten zu berücksichtigen:

- Welche Self-Interference liegt bereits vor?
- Welche Funkstandards sind aktiv?
- Welche Sendeleistungen treten auf?
- Wie gut sind Oberwellen und Nachbarkanaleinstrahlungen unterdrückt?
- Welche Antennenentkopplung liegt vor?
- Wie einstrahlfest sind die Empfänger?
- Welche Filter sind eingebaut, usw..

Wichtig ist, alle Problem-Szenarien ausfindig zu machen. Dabei sind programmgesteuerte automatische Messungen den manuellen Messungen vorzuziehen.

Danach geht es ums Ausmessen und Variieren der Parameter:

- Welche Beeinträchtigung tritt auf?
- Bei welchen Betriebszuständen soll gemessen werden?
- bei welchen Pegeln, bei welchen Frequenzen soll gemessen werden?
- Sind festgestellte Beeinträchtigung tolerierbar?

Ziel ist letztlich, die erkannten Störungen zu beseitigen oder zumindest abzuschwächen.

### 3.4.1 Einstrahlungen in benachbarte Kanäle

Dieses Beispiel ermittelt die Einstrahlung eines LTE-Interferers an der oberen Grenze von Band 40 auf die WLAN-Kanäle 1 (low), 6 (middle) und 13 (high) im 2.4 GHz-ISM-Band. Die Messungen erfolgten zunächst mit dem Test Setup 1, siehe Seite 18. Um

den Pegel des CMW-Sendesignals für WLAN zu erhöhen, wurde teilweise ein Verstärker wie in Test Setup 2 eingesetzt.

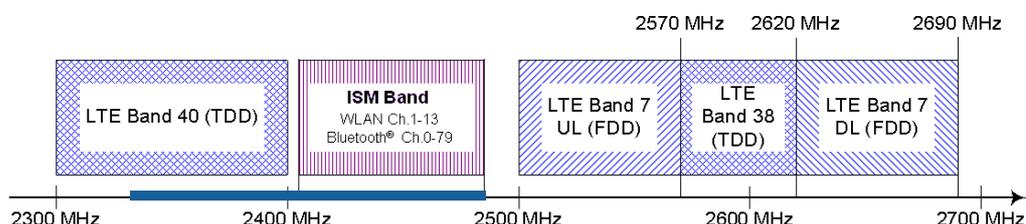


Fig. 3-11: Untersuchter Frequenzabschnitt (blau)

Band 40 ist speziell für TDD<sup>8</sup> LTE bestimmt. Der Interferer belegt eine Bandbreite von 20 MHz. Die betrachteten WLAN-Kanäle (Victim) arbeiten mit OFDM und einer Bandbreite von ca. 25 MHz.

Fig. 3-12 zeigt die gemessene Desensitization bei maximalen Interfererpegel (23 dBm) in verschiedenen Frequenzkombinationen.

Die senkrechte Achse beschreibt hier und in den folgenden Bildern die Frequenzen des LTE-Bandes 40, die waagrechte die WLAN-Frequenzen. Somit lassen sich die Messergebnisse von Frequenzkombinationen übersichtlich darstellen.

Grüne Felder bezeichnen Frequenzkombinationen mit keiner oder nur geringer Beeinträchtigung der Funkssysteme. Gelbe Felder zeigen Kombinationen mit deutlichen Verträglichkeitsproblemen; rote Felder kennzeichnen Kombinationen, bei denen kein gemeinsamer Betrieb mehr möglich ist, siehe Table 2-1 auf Seite 12.

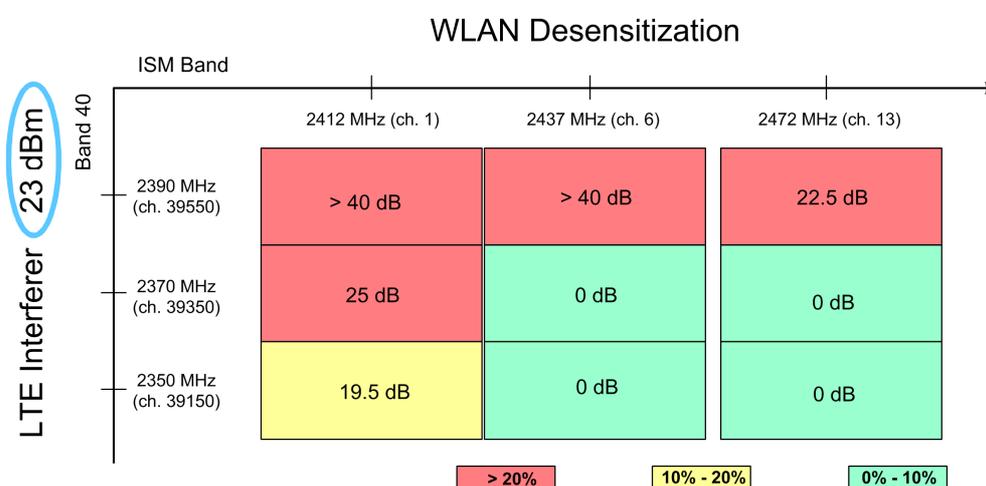


Fig. 3-12: Auswirkungen eines LTE-Interferers mit 23 dBm auf einen WLAN-Victim

Man erkennt hier, dass bei einer Interferer-Frequenz von 2390 MHz, also unmittelbar an der Bandgrenze) und 23 dBm Interferer-Pegel im gesamten WLAN-Band keine Kommunikation mehr möglich ist.

<sup>8</sup> Time Division Duplex: Up- und Downlink teilen sich eine Frequenz im Zeitmultiplex

Reduziert man den Interferer-Pegel um 10 dB (auf +13 dBm) erhält man Verhältnisse nach Fig. 3-13:

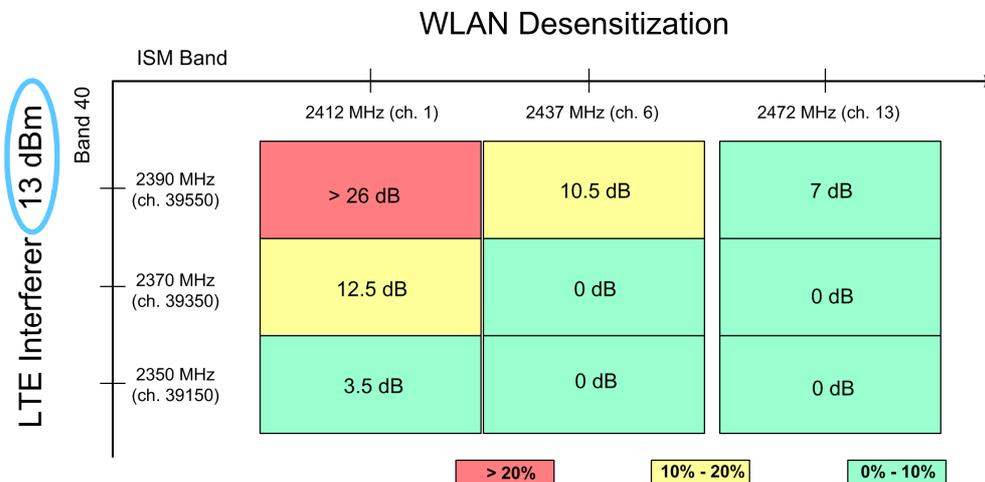


Fig. 3-13: Auswirkungen eines LTE-Interferers mit 13 dBm auf einen WLAN-Victim

Eine gleichzeitige Nutzung der Eckfrequenzen von Interferer und Victim ist nach wie vor nicht möglich. Selbst im jeweils "nächsten" Kanal sind noch Probleme zu erwarten.

Eine weitere Absenkung des Interferer-Pegels um 10 dB (auf +3 dBm) schließt immer noch aus, dass Interferer und Victim gleichzeitig die Eckfrequenzen nutzen, siehe Fig. 3-14. Die restlichen Kanäle sind jetzt nicht mehr betroffen.

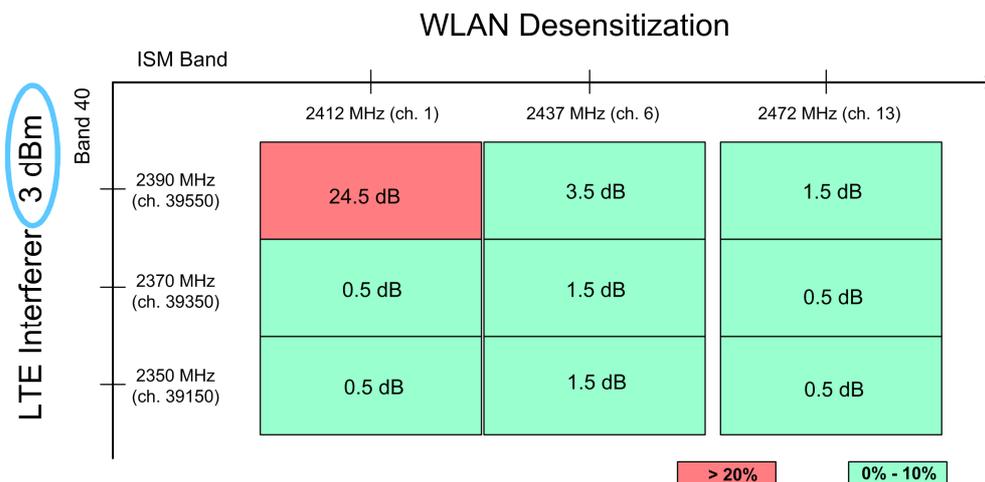


Fig. 3-14: Auswirkungen eines LTE-Interferers mit 3 dBm auf einen WLAN-Victim

Obwohl an der oberen Grenze des ISM-Bands etwas Abstand zum LTE-Band 7 eingehalten wird, kann man sich vorstellen, dass dort eine ähnlich starke

Desensitization stattfindet. Möglicherweise wird die Situation sogar noch dadurch verschärft, dass im LTE Band 7 das FDD-Uplink-Signal im Dauerbetrieb sendet<sup>9</sup>.

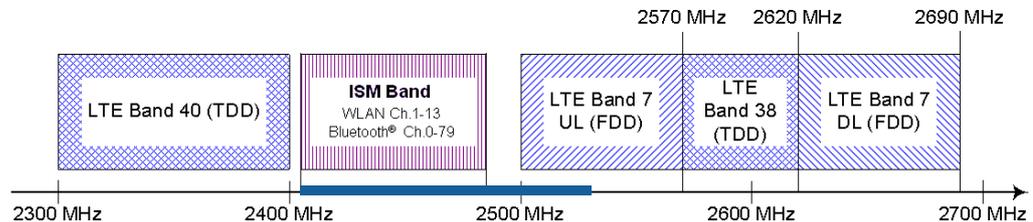


Fig. 3-15: Vergleichbare Situation am oberen Ende des ISM-Bands

Die gewonnenen Messergebnisse legen die Vermutung nahe, dass an den Bandgrenzen wahrscheinlich auch umgekehrt das WLAN-Signal eine LTE-Verbindung erheblich beeinträchtigen wird. Dies wird im Rahmen dieser Application Note nicht untersucht. Die Messprozedur ist prinzipiell die Gleiche.

### 3.4.2 Störungen durch Oberwellen in Nutzbändern

Dieses Beispiel ermittelt die Einstrahlung der 3. Harmonischen eines LTE-Interferers bei der Frequenz 1760 MHz im Band 3 auf die WLAN-Kanäle 48, 52, 56, 60 und 64 im 5 GHz-ISM-Band. Die Messungen erfolgten mit den Test Setup 2.

Die Grundfrequenz des Interferers, ein FDD-Signal, hat die Bandbreite 20 MHz. Die betrachteten WLAN-Kanäle (Victim) arbeiten mit OFDM und einer Bandbreite von ebenfalls ca. 20 MHz.

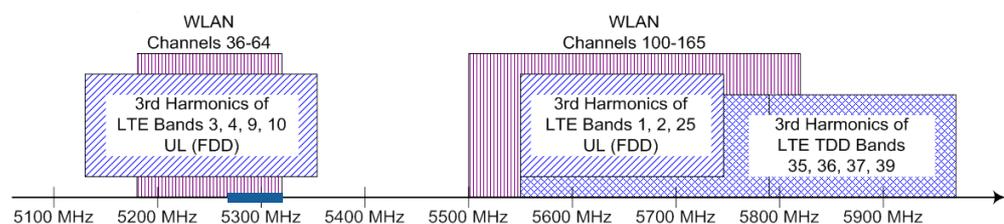
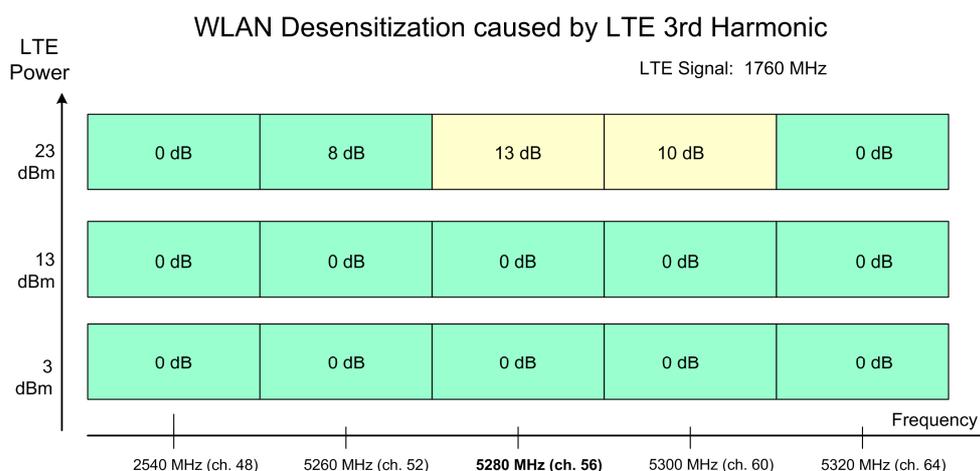


Fig. 3-16: Untersuchter Frequenzabschnitt (blau)

Fig. 3-17 zeigt die gemessene Desensitization bei den Interferer-Pegeln 23 dBm, 13 dBm und 3 dBm.

<sup>9</sup> FDD: Frequency Division Duplex: Dauersignale in beiden Richtungen auf diskreten Frequenzen



**Fig. 3-17: Auswirkungen der 3. Harmonischen eines LTE-Interferers auf einen WLAN-Victim**

Die Verdreifachung der Bandbreite bei der dritten Harmonischen des Interferers ist deutlich zu erkennen. Bei der vollen Leistung der Grundwelle ist bei den betroffenen WLAN-Kanälen eine gewisse Beeinträchtigung des Empfangs festzustellen. Diese ist jedoch tolerierbar, wenn man davon ausgeht, dass das DUT in der Praxis selten mit der Maximalleistung betrieben wird.

### 3.4.3 Identische Frequenzbereiche

Bluetooth® und WLAN 802.11b / 802.11g arbeiten beide unkorreliert im 2.4 GHz ISM-Band, in der Regel an einer gemeinsamen Antenne.

WLAN verwendet feste Frequenzen. Der unterste WLAN-Kanal (Channel 1) hat die Mittenfrequenz 2412 MHz, der oberste Kanal in Europa (Channel 13) die Mittenfrequenz 2472 MHz. Bluetooth® verwendet Frequency Hopping im 1 MHz-Raster von 2402 MHz bis 2480 MHz. Beide Standards arbeiten im Time Division Duplex TDD.

Bluetooth® und WLAN treffen also theoretisch tatsächlich zeitweise auf denselben Frequenzen zusammen; eine starke gegenseitige Beeinträchtigung scheint zunächst unausweichlich.

Wir betrachten WLAN als Victim und Bluetooth® als Interferer.

Die Messung der Coexistence kann wieder mit dem Test-Setup 1 oder 2 erfolgen. Um den Bluetooth®-Part im DUT mit dem CMW zum kontinuierlichen Senden zu bringen, muss man ihn jedoch in einen Testmode schalten. Dies ist bei modernen Smartphones nicht immer über Menu-Einstellungen möglich. Deshalb wird hier eine simple alternative Methode gezeigt, um den Bluetooth®-TX zu aktivieren, siehe [Fig. 3-18](#).

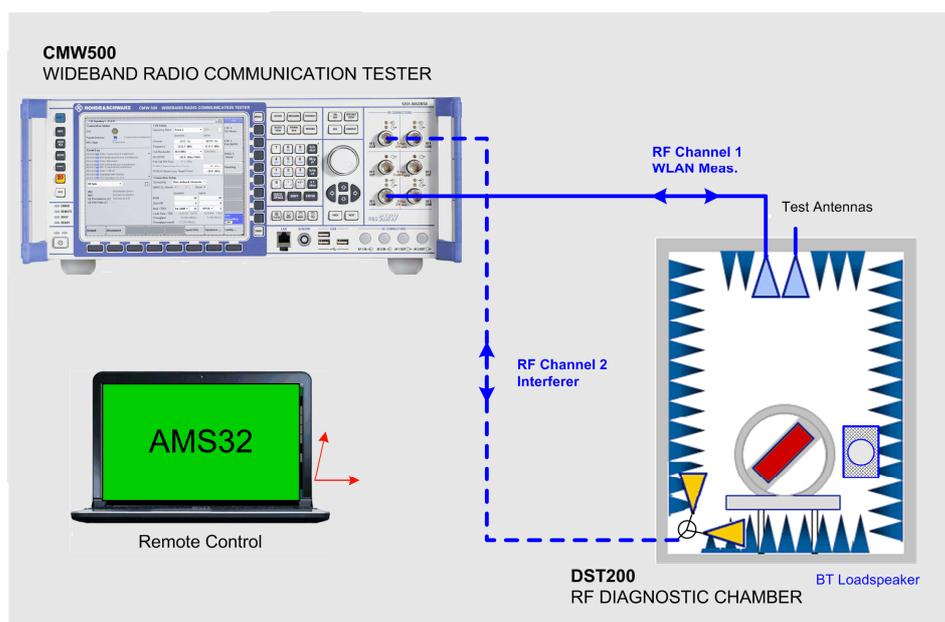


Fig. 3-18: Bluetooth®-Lautsprecher in der Schirmkammer

Dem DUT wird ein kleiner batteriebetriebener Bluetooth®-Lautsprecher als Funkpartner in die Schirmkammer gestellt. Nach dem Pairing startet man am DUT z.B. einen mp3-Player und der Interferer ist aktiv. (Eine Bluetooth®-Option im CMW ist dann nicht mehr erforderlich; der gestrichelte Pfad für RF Channel 2 wird hier nicht verwendet.) Zwar hat man bei diesem Test-Setup keinen Einfluss auf den Pegel des Interferers, doch mag dies für eine Orientierungsmessung ausreichen.

Das Ergebnis einer ersten Messung (Fig. 3-19) zeigt zwei PER-Messungen: die blaue Kurve ohne und die rote mit Bluetooth®-Interferer.

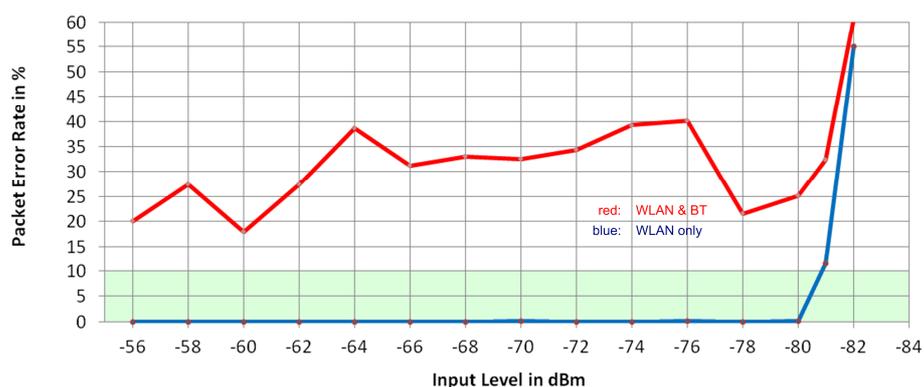


Fig. 3-19: PER-Messung ohne (blau) und mit Bluetooth®-Interferer (rot)

Das Ermitteln einer Desensitization ist hier gar nicht möglich, weil die Packet Error Rate in Anwesenheit des Bluetooth®-Signals auch bei hohem Nutzsignal stets weit über 10 % liegt.

Dies ist nicht verwunderlich, betrachtet man die Belegung des Spektrums. Fig. 3-20 zeigt, wie Bluetooth allein das gesamte ISM-Band in Anspruch nimmt.

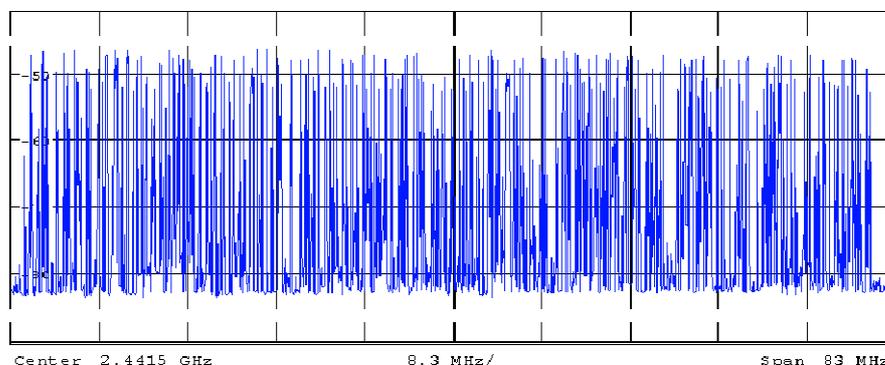


Fig. 3-20: Bluetooth®- Belegung des ISM-Bands (am Spektrumanalysator)

Startet man jetzt eine WLAN-Verbindung, überlagern sich die beiden Spektren:

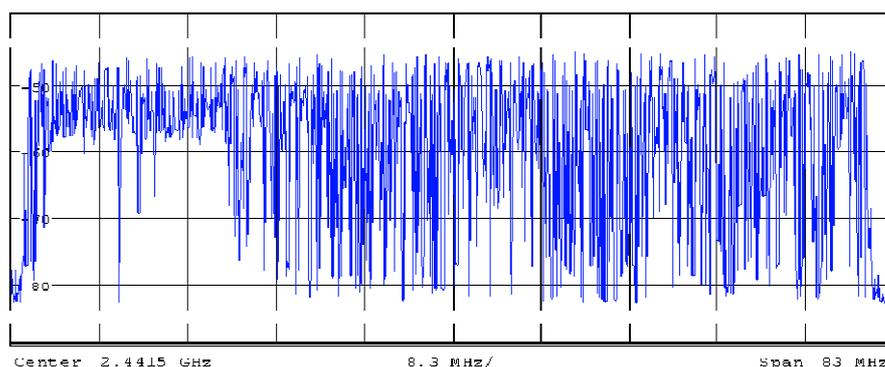


Fig. 3-21: Überlagerung der Spektren von WLAN (am unteren Bandende) und Bluetooth®

Interessant ist aber, dass die WLAN Packet Error Rate hier nicht schlechter ausfällt. Der Grund dafür liegt darin, dass WLAN, bevor es einen Kanal belegt, prüft, ob dieser frei ist. Ist dies nicht der Fall, wird zunächst gewartet, dann erneut geprüft. Nur wenn das Bluetooth® Hopping den WLAN-Channel gerade nicht belegt, wird ein WLAN-Burst gesendet.

An diesem Beispiel erkennt man, dass die PER als ausschließliche Figure of Merit zumindest hier nicht ausreicht. Dadurch, dass Konflikte durch Warten teilweise vermieden werden, steigt zwar die PER in nur relativ geringen Maß an. Stattdessen geht aber der Datendurchsatz (Throughput) extrem zurück. Die Übertragung von 2000 Paketen zu je 1000 Byte benötigte während der gesamten Messreihe ca. 255 s; das entspricht einer Datenrate von nur noch 7.8 kByte / s. Hier ist es äußerst sinnvoll, nicht nur die Packet Error Rate, sondern zusätzlich den Throughput zu messen und anzugeben.

Ein zweites DUT liefert andere Resultate. Fig. 3-22 zeigt wieder zwei PER-Messungen; die blaue Kurve ist ohne, die rote mit Bluetooth®-Interferer ermittelt worden.

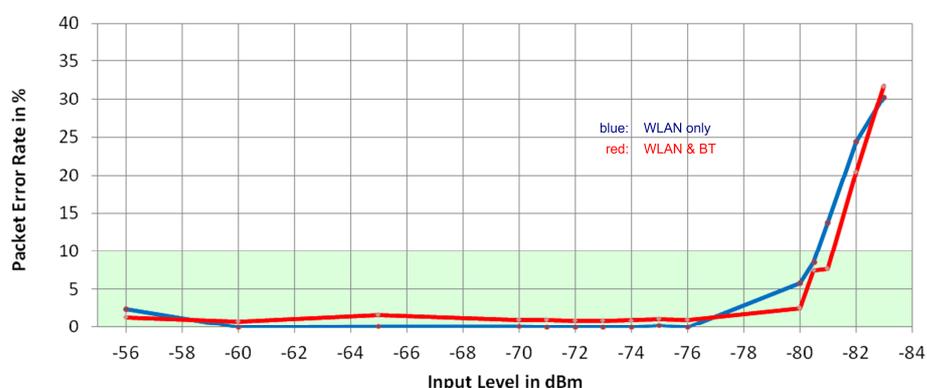


Fig. 3-22: PER-Messung ohne (blau) und mit Bluetooth®-Interferer (rot)

Hier sind (im Rahmen der Messunsicherheit) keine Unterschiede im Betrag und Verlauf der PER-Werte zwischen ungestörtem und gestörtem Szenario festzustellen. Ebenso ist kein Rückgang des Throughputs feststellbar.

Ein Blick ins Spektrum erklärt diesen Sachverhalt:

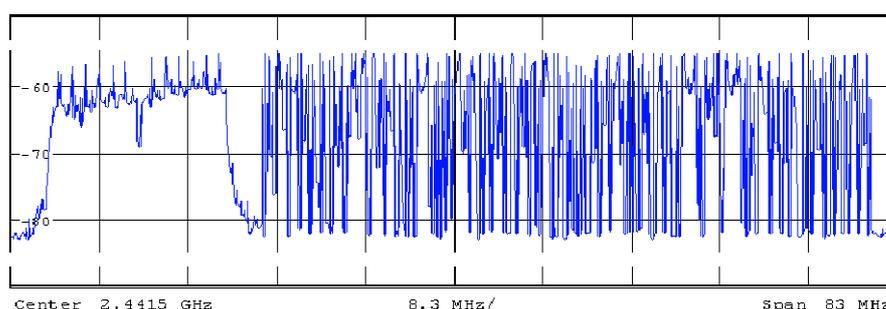


Fig. 3-23: Nebeneinander der Spektren von WLAN (am unteren Bandende) und Bluetooth®

Bei diesem DUT hält Bluetooth® den belegten WLAN-Kanal frei und beschränkt sich auf die oberen zwei Drittel des ISM-Bandes. Dies zieht zunächst keinerlei Nachteile nach sich; die verwendeten Frequenzen werden nur etwas häufiger angesprochen.

Diese Technik, belegte Frequenzen freizuhalten, heißt Adaptive Frequency Hopping AFH. Sie funktioniert ausgezeichnet, wenn ausreichend Ausweichmöglichkeiten vorhanden sind. Bei einer Belegung des 2.4 GHz ISM-Bandes mit drei 25 MHz breiten WLAN-Signalen ist die Resource Frequenz allerdings erschöpft.

Messtip: Beim ersten untersuchten DUT war zuerst Bluetooth®, anschließend dann WLAN aktiviert worden. Bei umgekehrter Einschalt-Reihenfolge, funktioniert das Adaptive Frequency Hopping auch bei diesem Modell.

## 4 Die OTA Measurement Software AMS32

Die System-Software R&S®AMS32 unterstützt eine Vielzahl von Over-the-Air-Tests in der DST200 oder in größeren HF-Schirmkammern. Mit der Software lassen sich einerseits bereits vordefinierte Tests konform zum CTIA "Test Plan for Mobile Station Over The Air (OTA) Performance" [3] ausführen, andererseits ebenso leicht individuelle Tests und Testsequenzen erstellen.

AMS32 kann einzeln oder als Komponente der kompletten Test-Suite R&S®EMC32 erworben werden. Die AMS32 allein unterstützt nur OTA-Messungen, das Gesamtpaket EMC32 insgesamt OTA, EMI und EMS Tests.

Mit der AMS32 bzw. der EMC32-Software und dem OTA Performance Test System R&S®TS8991 [7] lassen sich fast alle denkbaren OTA-Tests an Funkgeräten durchführen. Je nach Notwendigkeit und Ausbau steuert die Software eine Vielfalt an Einzelgeräten im TS8991-Rack: Generatoren, Radio Communication Tester, Spektrum- und Netzwerk-Analysatoren, Power Meter, Schaltmatrizen, Verstärker und einen Positioner.

In vielen Fällen werden aber nur wenige der Gesamtmenge an vordefinierten Tests benötigt und - dem entsprechend - nur wenige der genannten Einzelgeräte. Beispielsweise kommt man für Desensitization Tests meistens mit nur einem Radio Communication Tester CMW500 aus.

Umfassende Information zur Software erhalten Sie im AMS32 Getting Started Tutorial [8]. Das neuesten Informationen über AMS32-Releases gibt es auf der Web Home Page of Rohde & Schwarz unter [www.emc32.rohde-schwarz.com](http://www.emc32.rohde-schwarz.com).

Die folgenden Abschnitte konzentrieren sich auf diese OTA-Messungen:

- Intermediate Sensitivity
- Co-Existence Desensitization (Desense).

## 4.1 AMS32 OTA-Messungen

Fig. 4-1 zeigt das Block-Diagramm eines OTA Messsystems, wie es die AMS32-Software unterstützt.

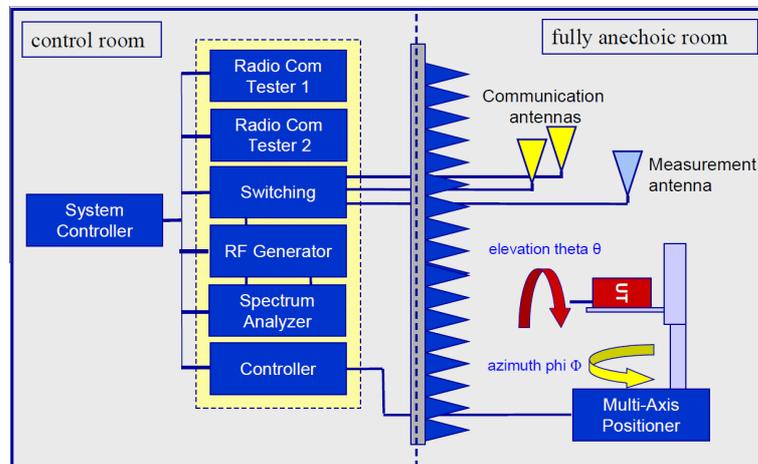


Fig. 4-1: Block-Diagramm eines AMS32 OTA Test Systems

Im "Control Room" sind viele Geräte summarisch aufgeführt. Fig. 4-2 zeigt die genaue Liste:

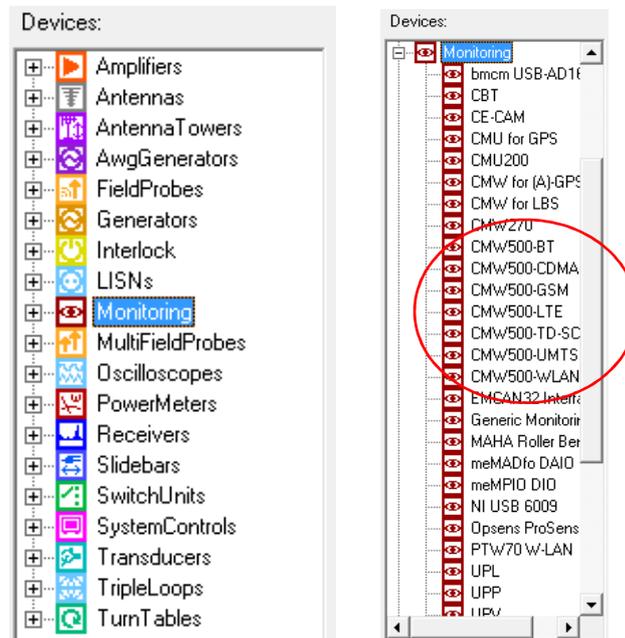


Fig. 4-2: Geräte, die die AMS32-Software ansteuern kann

Für die In-device Coexistence Tests kommt man mit einem Instrument, dem CMW500, alleine aus. Je nach den Radio Communication Standards von Victim und Interferer benötigt man dazu die entsprechenden Optionen, z.B. CMW500-LTE und CMW500-WLAN. Ein CMW500 mit zwei Standards ersetzt dabei zugleich Radio Com Tester 1 und 2 in Fig. 4-1.

Zusätzlich können noch Verstärker und eine positionierbare Halterung hinzukommen.

## 4.2 Test-Konfiguration

Die AMS32-Software verwendet sog. *Measurement Classes*, um Subsysteme (OTA, EMI or EMS) und Radiated und Conducted Tests auseinander zu halten. Dadurch lassen sich die Messungen an einem DUT sinnvoll gruppieren. Fig. 4-3 zeigt die aktuell angebotenen Classes.

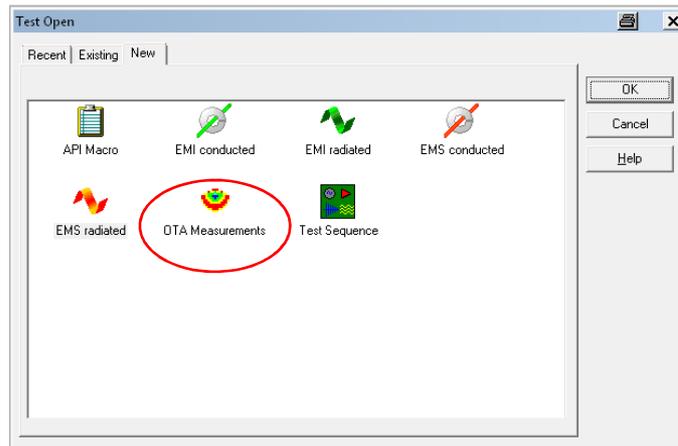


Fig. 4-3: Measurement Classes in der AMS32-Software

Für Sensitivity und In-device Coexistence wählen Sie *OTA Measurements*.

### Templates

Test-Settings hängen naturgemäß von der individuellen Test Suite ab. Für die meisten Messungen gibt es in der AMS32-Software bereits ein vorprogrammiertes Default Setting aus dem CTIA Test Plan. Bestimmte Settings, wie beispielsweise die Konfiguration des Radio Communication Tester CMW500, müssen jedoch individuell eingegeben werden.

Für OTA-Tests mit der AMS32-Software werden die Test-Settings in einem sogenannten *Test Template*-File abgespeichert. Man gibt diesem File üblicherweise einen Namen, der den Typ der Messung und den Funkstandard bezeichnet, z.B. *Sensitivity GSM*.

Die Methode, die gesamte Parameter-Definition in einem Template vorzunehmen, hat den Vorteil, dass sie nicht vor jedem neuen Messstart vorzunehmen ist.

Für OTA Messungen gibt es drei vordefinierte Templates:

- Radiated Power Mobile Phone
- Sensitivity Mobile Phone including in-device Coexistence
- Radiated Power Passive Antenna

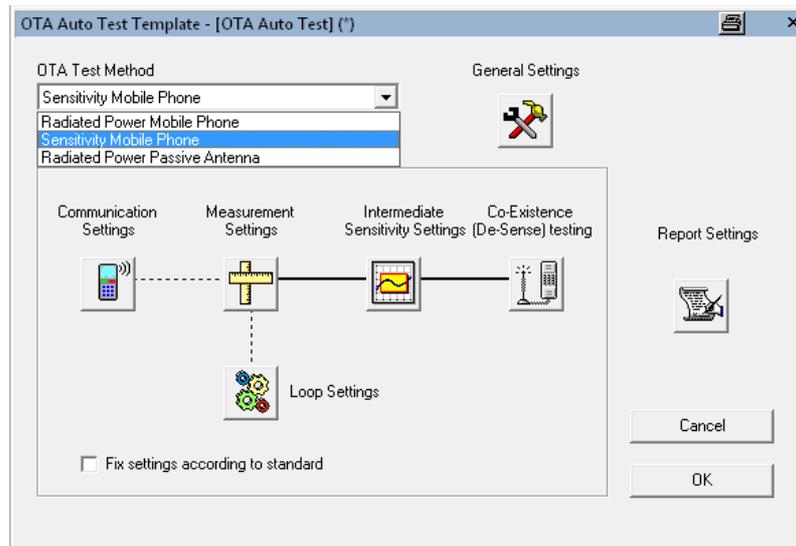


Fig. 4-4: AMS32 Konfigurationsmenu für Sensitivity und Co-Existence Messungen

Wählen Sie *Sensitivity Mobile Phone* sowohl für *Intermediate Sensitivity* als auch für *Co-Existence (De-Sense)* Tests.

Gemeinsam für *Sensitivity* und *Co-Existence* gibt es folgende fünf Settings:

- General Settings,
- Communication Settings,
- Measurement Settings,
- Loop Settings
- Report Settings.

In den *General Settings* (oben in Fig. 4-4) werden der Hardware Setup, der Mobile Phone und Measurement-Standard sowie die DUT-Positions definiert.

In den *Communication Settings* werden Parameter für den Communication Tester (CMW500) eingegeben. Fig. 4-5 zeigt einige davon für WLAN (es handelt sich hier um einen Auszug aus der context-sensitiven Hilfe-Funktion der AMS32-Software).

<b>Data Rate</b>	Allows to select the data rate to be set on the PTW70 when establishing the link. Data rates are identified by a number used as such in PTW70 control and the explicit data rate in parenthesis. For certain data rates, two distinct configurations with long or short preambles may be selected.
<b>Packet Size</b>	Length in byte of one packet exchanged between the Communication Tester and the DuT. This parameter is not of crucial importance as it does not affect the measurement directly, but it has to be passed to the instrument for programming.
<b>Packet Interval</b>	Time in ms between two packets. May be used for making sure making sure the DuT will not have problems with too high packet rates. Also, may be used for simulating reproducible conditions exist in the radio link. With this parameter set to 0, packets will be passed as fast as possible.
<b>MAC Address of DuT</b>	MAC address of the DuT. The correct address must be passed to AMS32 if connecting in infrastructure test mode (with authentication). It can be omitted when connecting in ad-hoc mode.  The MAC address must consist of 14 characters, starting by a leading "0X" plus twelve additional hexadecimal characters (0 - 9, A - F)
<b>Number of packets</b>	Number of packets to use for a measurement.  This field will be displayed for Radiated power configurations only, as for Sensitivity tests, this parameter is modified during the test and is included in part of the <b>Measurement Settings</b> sub-dialog.
<b>Connect in ad-hoc mode</b>	Connection between the PTW70 and the DuT can be made either in infrastructure mode, in which a protocol stack including association and authentication procedures is set up, or in the so-called ad-hoc mode, which leads to a peer-to-peer connection.  Wherever possible (the DuT must support this mode), an ad-hoc mode connection is the preferred one for Sensitivity tests, because

Fig. 4-5: Communication Settings für WLAN (Ausschnitt)

Die *Measurement Settings* hängen von der gewählten *Test Method* ab, siehe Fig. 4-4. Bei den *Sensitivity Measurements* wird hier eingestellt, wie man sich schrittweise an die vorgegebene Package Error Rate annähert, siehe Fig. 4-6.

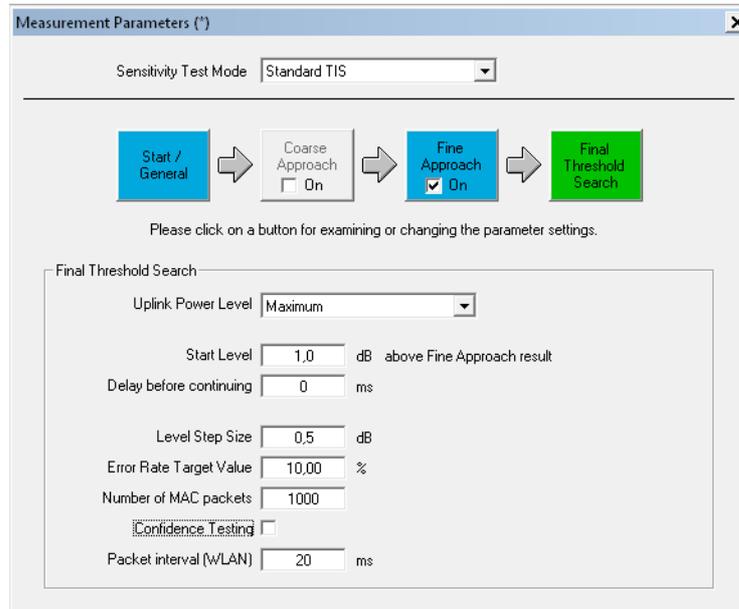


Fig. 4-6: Measurement Settings für typische BER / PER Messungen

Die *Loop Settings* definieren die Frequenz- und Positionierungsschritte. Fig. 4-7 zeigt ein Beispiel für WLAN 11.g (Channel 6):

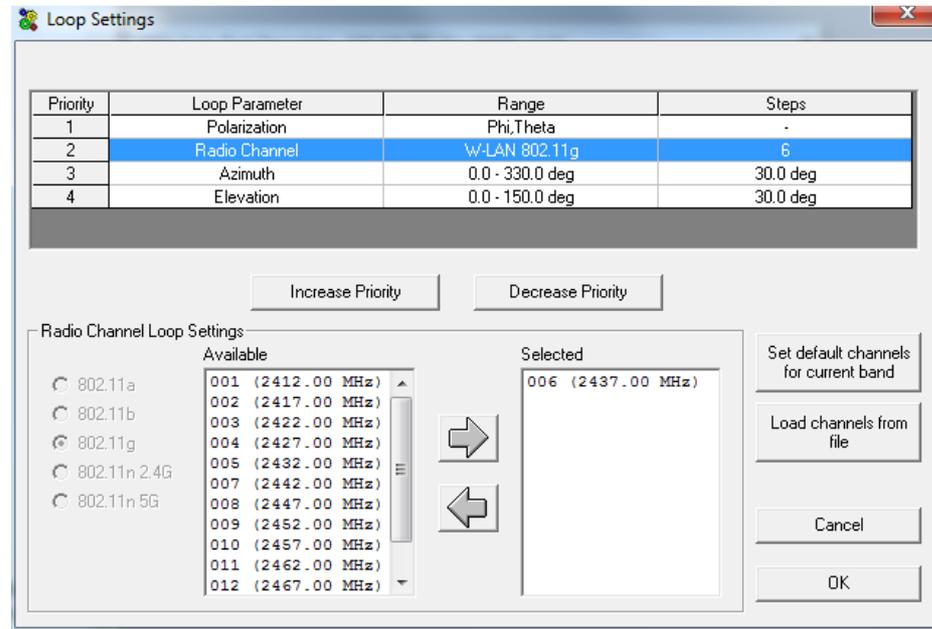


Fig. 4-7: Frequenz- und Positionierungsschritte in der Messschleife

Die *Report Settings* werden später in dieser Application Note beschrieben.

Zusätzlich zu den behandelten fünf gemeinsamen Settings gibt es spezielle Parameter für *Intermediate Sensitivity* oder *Co-Existence* Tests. Die entsprechenden Eingabefenster öffnen sich durch Klicken auf den jeweiligen Icon *Sensitivity* bzw. *Co-Existence* icon in Fig. 4-4 auf Seite 35.

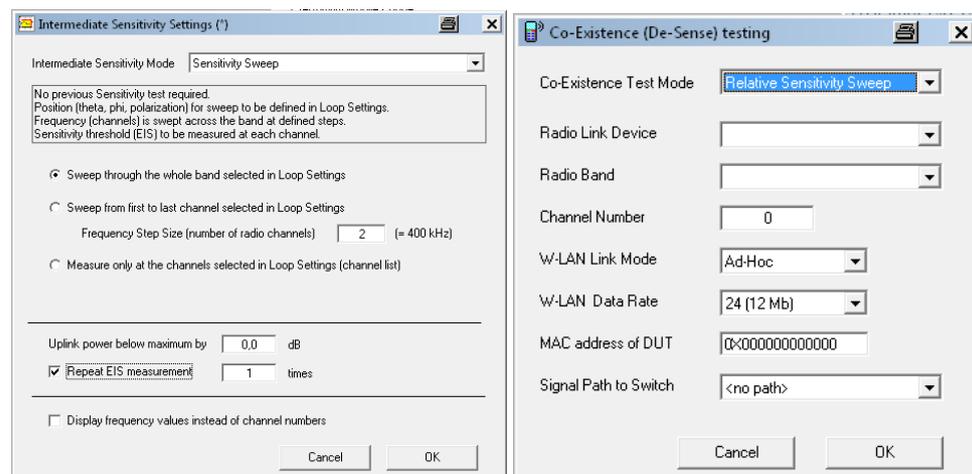


Fig. 4-8: Individuelle Settings für Intermediate Sensitivity bzw. Co-Existence Tests

Sind diese letzten Einträge erfolgt, ist die Test-Konfiguration abgeschlossen.

## 4.3 Test-Ablauf

Nach der Konfiguration besteht ein Test-Lauf aus folgenden Schritten:

- Test-Start
- Beurteilen der Ergebnisse
- Erzeugen eines Measurement Reports.

Einen Test startet man über das *Start / Forward* Symbol in der *Test Control Bar*, siehe [Fig. 4-9](#).



**Fig. 4-9: Control Toolbar der AMS32 Software**

Nach dem Start prüft die Software zunächst, ob alle erforderlichen Messgeräte angesprochen werden können. Anderenfalls öffnet sich ein Dialog mit einer Liste aller nicht gefundenen Instrumente. Der Anwender kann jetzt den Test anhalten oder als Simulation durchführen.

Wird der Test weitergeführt, fordert die AMS32-Software dazu auf, das DUT (Mobiltelefon) einzuschalten und auf die Synchronisation zu warten. Dann erfolgt ein Verbindungsaufbau, der entweder von DUT oder dem CMW500 ausgeht. Ist die Verbindung hergestellt, erfolgt die Aufforderung, die Tür der Schirmkammer zu schließen und fortzufahren.

Während des Messablaufs kann ein Test pausiert oder gestoppt werden.

Wird das *Pause* Symbol in der Test Control Toolbar geklickt, wiederholt die AMS32 kontinuierlich die laufende Messung in der aktuellen Position des DUTs. Mit Click auf den *Start / Forward* button lässt man den Test weiterlaufen.

Clicken auf das *Stop* Symbol bricht den Test ab. Startet man erneut, läuft der Test ab der letzten Position im vorigem Lauf weiter.

Ist die Messung zu Ende, wird das Messergebnis graphisch angezeigt. Eine Darstellung als Tabelle ist ebenso möglich.

## 4.4 Testergebnisse

Fig. 4-10 liefert das Ergebnis einer Messung der Intermediate Sensitivity. Die Kurve zeigt den Pegel am Empfänger des DUTs, bei dem sich eine bestimmte vorgegebene Packet-Error-Rate (z.B. 10 %) einstellt.

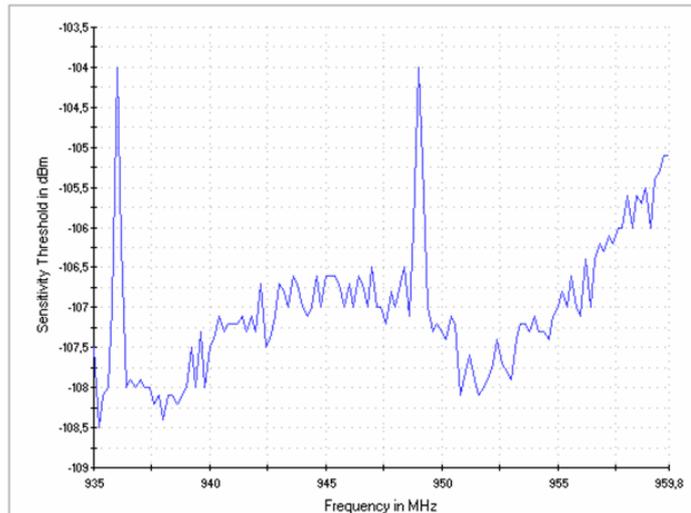


Fig. 4-10: Tatsächliche Empfindlichkeitskurve eines GSM DUTs

Man sieht hier die sogenannte Self-Interference des DUTs, die von den Oberwellen des internen 13 MHz GSM-Systemtaktes verursacht wird.

Fig. 4-10 vermittelt anschaulich, dass auch ein punktueller Rückgang der Empfindlichkeit um wenige dB präzise erkannt wird. Darüberhinaus demonstriert dieses Beispiel die Vorteile einer programmgesteuerten Messschleife mit kleiner Schrittweite. Bei einer Handmessung an wenigen diskreten Frequenzen werden derartige Peaks leicht übersehen.

Fig. 4-11 zeigt das Ergebnis einer Desensitization-Messung. Man sieht jeweils vier Kurvenzüge mit und vier ohne Interferer. Die vier Farben kennzeichnen vier unterschiedliche Positionen des DUTs in der Schirmkammer DST200.

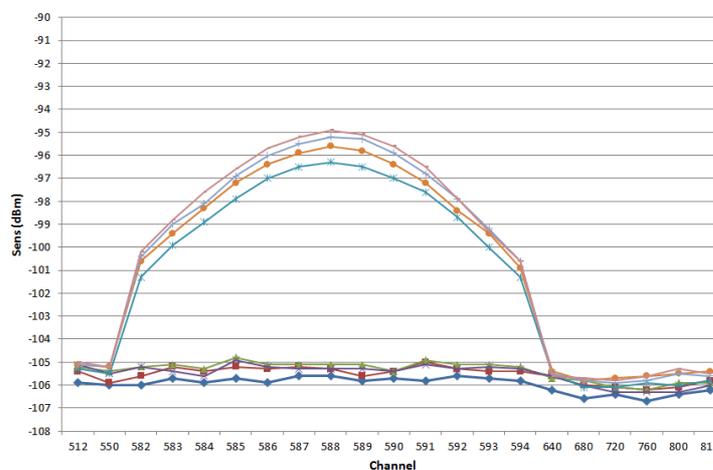


Fig. 4-11: Messung der Desensitization über PCS-Kanäle

Hier zeigt sich den Einfluss der Oberwellen des Jitter-behafteten Takts einer Kamera im DUT. Die RX-Empfindlichkeit geht dadurch um ca. 10 dB zurück. Eine Messung der Bit- bzw. der Block-Error Rate im gezeigten Frequenzbereich ergibt wahrscheinlich bereits eine Verletzung der Grenzwerte des ETSI-Standards.

Fig. 4-11 demonstriert darüberhinaus, dass eine Desensitization durch einen internen Interferer - wie erwartet - unabhängig ist von der Position des DUTs in der Schirmkammer.

## 4.5 Report-Funktion

Das *Report Settings*-Menu öffnet man im Konfigurationsmenu des Test-Templates Fig. 4-4 auf Seite 35.

Die implementierte Report-Funktion der AMS32 Software fasst alle Messdaten wie graphische und numerische Ergebnisse, Test Environment-Parameter, sowie Informationen über das DUT und den Hardware-Setup in einem Dokument zusammen. In der *Report Settings* passt man die Dokumentation den eigenen Wünschen an und wählt ein File-Format zum Abspeichern, siehe Fig. 4-12.

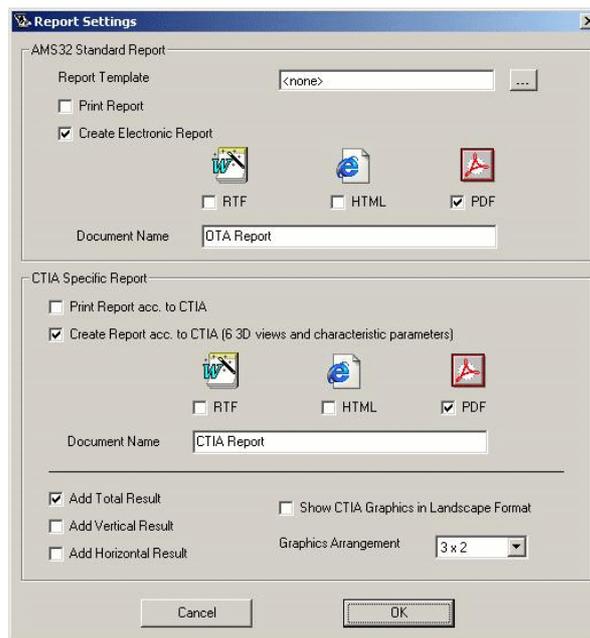


Fig. 4-12: Konfiguration des Measurement Reports

Vor allem, wenn es darum geht, ein Produkt zu optimieren, fallen viele wiederkehrende Messzyklen unter den gleichen Rahmenbedingungen an. Das einfache Laden und Anzeigen früherer Ergebnisse zeigt unmittelbar die Auswirkung von Änderungen und Verbesserungen im Design.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Application Note wurde gezeigt, dass beim gleichzeitigen Betrieb unterschiedlicher Funkssysteme, die räumlich zusammen in einem Gerät untergebracht sind (In-Device Coexistence), bei bestimmten Frequenzkombinationen erhebliche Störungen auftreten können. Diese Störungen lassen sich als Reduzierung der RX-Empfindlichkeit (Desensitization) beschreiben.

Mit gestrahlten Messungen (Over-the-air) können die auftretenden Effekte mit dem Rohde & Schwarz-Wideband Radio Communication Tester CMW500 präzise ausgemessen werden. Bei genauer Positionierung der DUTs in der Rohde & Schwarz-Schirmkammer DST200 sind die Messergebnisse sehr stabil und reproduzierbar. Mit der AMS32-Software lassen sich Messungen, die im Rahmen dieser Application Note nur bei wenigen Frequenzen und Pegeln möglich waren, über alle Frequenzbänder und weite Pegelbereiche automatisch durchführen.

Zur Charakterisierung der Beeinträchtigung zweier Funkssysteme durch die räumlich nahe Anordnung reicht die sogenannte Desensitization, die sich rein aus Block Error- oder Packet Error-Messungen ableitet, nicht aus. Messungen des tatsächlichen Throughputs sind unverzichtbar.

In einer abgeschirmten Kammer Over-the-Air zu messen, ist zwar einerseits erforderlich, um objektivierbare wiederholbare Resultate zu erhalten; es spiegelt aber nicht die physikalische Realität. Festzustellen ist, dass die Messergebnisse bei geöffneter Schirmkammertür schlechter ausfielen als bei geschlossener Kammer. Zumindest für WLAN kann man dies dadurch erklären, dass zusätzlich zum starken Interferer im DUT auch die weitaus schwächeren Signale z.B. von Access-Points in der Umgebung die Performance des gemessenen DUTs weiter verschlechtern können.

Um die festgestellten Störungen der Funkssysteme zu verringern oder ganz zu beseitigen, gibt es eine Reihe von Maßnahmen:

### Design-Maßnahmen:

- Möglichst gute Entkopplung der Antennen im DUT. Dies erreicht man durch möglichst großen Abstand der Antennen, durch Abschirmelemente und unterschiedliche Polarisierung.
- Reduzierung unerwünschter Emissionen. Dies gelingt durch den Einbau von zusätzlichen Filtern, stärkerer Oberwellenunterdrückung und verbesserter Linearität der analogen Stufen in der jeweiligen Sendestufe (TX).
- Pegel-feste Auslegung der analogen Stufen im jeweiligen Empfangspfad (RX).

Diese Prinzipien sind bei modernen Geräten bereits Stand der Technik. Zusätzlich weiterhelfen können

### optimierte Betriebsarten:

- Vermeidung von gemeinsamen Kanälen und Kanälen an gemeinsamen Bandgrenzen,
- Vergabe von Zeitschlitten an die verschiedenen Teilnehmer,
- Reduzierung der jeweiligen Sendeleistung auf den minimal erforderlichen Wert.

Diese Maßnahmen sind weitaus komplexer; eine Optimierung für einen Anwender bedeutet meistens einen Nachteil für einen oder mehrere andere Nutzer.

Die Aufteilung des ISM-Bandes zwischen einem WLAN- und einem Bluetooth®-Nutzer (wie in Kapitel 3.5.3 beschrieben) funktioniert nur bei einer geringen Auslastung des ISM-Bandes. Sie funktioniert nicht mehr, sobald nur 3 WLAN-Kanäle mit je 25 MHz Bandbreite sich nebeneinander etablieren. Ebenso verringert das Nichtbenutzen bestimmter freier Kanäle die Kapazität eines Funknetzes nicht unerheblich.

Auch das Vermeiden von Kollisionen im WLAN-Access-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access CSMA) und dem Adaptive Frequency Hopping bei Bluetooth® bedeutet eine Einschränkung der ursprünglichen Kanalkapazität. In diesem Fall wird die Zuteilung der Ressource Zeit für jeden Teilnehmer geringer; der Throughput geht entsprechend zurück. Aber die Auslastung ist ungestört und daher optimal, denn es müssen keine fehlerhaften Datenpakete wiederholt werden.

Auch bezüglich der Sendeleistung der Funkteilnehmer sind Kompromisse erforderlich. Eine hohe Sendeleistung bedeutet immer ein besseres Signal-/ Noise-Verhältnis (S/N), also eine sicherere Übertragung für den jeweiligen Nutzer. Umgekehrt bedeutet sie ein schlechteres S/N für alle anderen Teilnehmer des gleichen Funknetzes. (Aus diesem Grund wird die Sendeleistung für die Mobiltelefone in modernen Netzen von den jeweiligen Basisstation individuell genau eingestellt.) Eine weitere Reduzierung zu Gunsten eines anderen Funknetzes wäre eine unangemessene Benachteiligung eines Teilnehmers.

Werden WLAN und Bluetooth® in einem gemeinsamen Chip erzeugt, ist es möglich, aufeinander Rücksicht zu nehmen und z.B. Frequenzen aufzuteilen. Anders verhält es sich zwischen zellularen und nicht-zellularen Netzen. Hier gibt es in der Regel keine Koordinierung z.B. bezüglich der Belegung von Frequenzen an den Bandgrenzen.

Neuere Bestrebungen zielen daraufhin, Koordinierung zu schaffen. D.h. die aktuelle Kanalbelegung soll an höhere Layer im Protokollstack der zellularen Netze gemeldet werden, um ggf. bestimmte Frequenzen zu meiden oder Pegel zu ändern [1]. Um die begrenzten Ressourcen Frequenz, Zeit und S/N optimal zu nutzen, lautet das erste Ziel immer, die gegenseitige Störbeeinflussung zu minimieren.

Die gezeigten Messungen dieser Application Note sollen dazu einen Beitrag liefern.

## 6 Literature

- [1] 3GPP TR 36.816, Study on signalling and procedure for interference avoidance for in-device coexistence, release 11, 2011-12
- [2] "Test Plan for RF Performance Evaluation of Wi-Fi Mobile Converged Devices", revision 2.0, February 2015, CTIA
- [3] "Test Plan for Wireless Device Over-the-Air Performance / Method of Measurement for Radiated RF Power and Receiver Performance", Revision Number 3.2.4, Sept. 2014, CTIA
- [4] "Yes! Wi-Fi and Bluetooth® Can Coexist in Handheld Devices", Ronak Chokshi, Marvell Semiconductor, March 2010  
<http://www.marvell.com/wireless/assets/Marvell-WiFi-Bluetooth-Coexistence.pdf>
- [5] 3GPP TS 36.101 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception, 3GPP TS 36.101 V12.5.0 (2014-09)
- [6] Rohde & Schwarz, Application Note 1MA154\_1e, LTE Base Station Tests according to TS 36.141
- [7] Rohde & Schwarz, TS8991 OTA Performance Test System, Data Sheet, PD 5213.8796.12
- [8] Rohde & Schwarz, AMS32 Getting Started Tutorial, PD 1508.6509.42

Bitte senden Sie Kommentare und Vorschläge zu dieser Application Note an

<mailto:TM-Applications@rohde-schwarz.com?subject=Application Note>

## 7 Bestell-Information

Ordering Information		
Vector Signal Generator		
CMW500	Wideband Radio Communication Tester	1201.0002K50
DST200	RF Diagnostic Chamber	1510.9047.02
AMS32	OTA Measurement Software, basic package	1508.6650.02
TS8991	Over-the-air OTA Performance Test System	1119.4309.02

Note: The individually required instrument options depend on your application. Please contact your local Rohde & Schwarz sales office for further assistance.

## Rohde & Schwarz

Der Elektronikkonzern Rohde & Schwarz bietet innovative Lösungen auf den Arbeitsgebieten Messtechnik, Rundfunk- und Medientechnik, sichere Kommunikation, Cyber-Sicherheit sowie Funküberwachungs- und -ortungstechnik. Vor mehr als 80 Jahren gegründet, ist das selbstständige Unternehmen in über 70 Ländern mit einem engmaschigen Vertriebs- und Servicenetz präsent.

In seinen angestammten Arbeitsgebieten zählt der Elektronikkonzern zu den führenden Anbietern weltweit. Der Firmensitz ist in München, Deutschland. Ergänzend steuern je ein regionales Headquarter in Singapur sowie in Columbia, USA, die Geschäfte.

## Regional Kontakt

Europa, Afrika, Mittlerer Osten  
+49 89 4129 12345  
[customersupport@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport@rohde-schwarz.com)

Nord Amerika  
1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)  
[customer.support@rsa.rohde-schwarz.com](mailto:customer.support@rsa.rohde-schwarz.com)

Lateinamerika  
+1 410 910 79 88  
[customersupport.la@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.la@rohde-schwarz.com)

Asien Pazifik  
+65 65 13 04 88  
[customersupport.asia@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.asia@rohde-schwarz.com)

China  
+86 800 810 82 28 | +86 400 650 58 96  
[customersupport.china@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.china@rohde-schwarz.com)

## Nachhaltige Produktgestaltung

- Umweltverträglichkeit und ökologischer Fußabdruck
- Energie-Effizienz und geringe Emissionen
- Langlebigkeit und optimierte Gesamtbetriebskosten



Die Nutzung dieses Dokuments und der mitgelieferten Programme darf nur unter Anerkennung der Nutzungsbedingungen erfolgen, die im Downloadbereich der Rohde & Schwarz-Website aufgeführt sind.

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer.

**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG**

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München  
Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)