

## Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops **Qualitätssicherung bei der HF-Spektrumanalyse**

– Ringmessungen und Geräteüberprüfung –

am **9. - 10. Mai 2013** in Iphofen

Leitung der Ringmessungen: Dr.-Ing. Martin H. Virnich

Iphöfer Messtechnik-Seminare IMS

Dr.-Ing. Dietrich Moldan

Am Henkelsee 13

97346 Iphofen

[www.drmodalan.de](http://www.drmodalan.de)

Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V.

Bundesgeschäftsstelle

Sandbarg 7

21266 Jesteburg

[www.baubiologie.net](http://www.baubiologie.net)

### **1 Inhaltsverzeichnis**

	Seite
1 Inhaltsverzeichnis	1
2 Einleitung	2
3 Übersicht der verwendeten Messgeräte und Teilnehmer-Identifikation	3
4 Begriffsbestimmungen	4
5 Messgeräteüberprüfung	5
6 Messgerätevergleich GSM 900	6
7 Ringmessung GSM 900	8
8 Ringmessung UMTS FDD	11
9 Ringmessung DVB-T	16
10 Ringmessung LTE FDD an einer Basisstation (eNodeB)	19
11 Ringmessung LTE FDD am Signalgenerator, Einstellung Volllast	31
12 Ringmessung DECT Schnurlostelefon	44
13 Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)	49
14 Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)	57
15 Ringmessung Wireless M-Bus mit Datentransfer	61

## 2 Einleitung

Ringversuche bzw. Ringmessungen sind ein probates Mittel zur Qualitätssicherung. Die Teilnehmer der Ringmessung messen mit ihrem eigenen Equipment nacheinander am gleichen Ort die Immissionen eines oder mehrerer Funkdienste. Der Vergleich der Ergebnisse gibt Aufschluss darüber, wie gut die Messungen reproduzierbar sind und welche Messunsicherheiten in der Praxis tatsächlich auftreten.

Der Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Parameter-Einstellungen am Analysator und unterschiedlicher Messmethoden (z.B. Filter Sweep / Channel Power) kann der Validierung bestimmter Methoden oder Analysatoreinstellungen dienen. Dies ist insbesondere bei Messverfahren für neue Funkdienste von Interesse, wie z.B. gerade jetzt bei LTE.

Die Iphöfer Messtechnik-Seminare IMS veranstalten seit 2003 jährlich den Workshop „Qualitätssicherung bei der HF-Spektrumanalyse – Ringmessungen und Geräteüberprüfung“; seit 2006 geschieht dies in Kooperation mit dem Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V.

Bei den bisher durchgeführten Ringmessungen hat sich gezeigt, dass qualifizierte Messtechniker eine erstaunlich niedrige Streuung und hohe Reproduzierbarkeit bei Immissionsmessungen mit dem Spektrumanalysator erreichen können.

Bei den IMS-Ringmessungen gehört zum Umfang der Maßnahmen auch zu Beginn eine technische Überprüfung der Messausrüstung eines jeden Teilnehmers, sowohl der Analysatoren als auch der Antennen und der Antennenkabel. Eventuelle unbemerkte Defekte oder größere Toleranzen können so schon im Vorfeld der Ringmessungen erkannt und entsprechend berücksichtigt werden.

Die Messergebnisse der Teilnehmer werden unmittelbar nach der jeweiligen Messung sofort vor Ort erfasst und am gleichen Tag präsentiert und diskutiert, um eventuelle größere Abweichungen und Ausreißer direkt erkennen und ggf. korrigieren zu können.

Aufgrund der hohen Teilnehmerzahl im Jahr 2013 mussten bei einigen Funkdiensten zwei Messpunkte im Abstand von einigen Metern nebeneinander eingerichtet werden, um den zeitlichen Durchsatz in der zur Verfügung stehenden Zeit zu schaffen. Dies bedingt auch im Protokoll die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse getrennt für diese beiden Messpunkte.

Die hier vorliegende „Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops Qualitätssicherung bei der HF-Spektrumanalyse – Ringmessungen und Geräteüberprüfung – am 9. - 10. Mai 2013 in Iphofen“ stellt einen Auszug aus dem Original-Protokoll dar. Das Original-Protokoll umfasst 112 Seiten und enthält sämtliche Messwerttabellen.

### 3 Übersicht der verwendeten Messgeräte und Teilnehmer-Identifikation

Teiln. ID	Spektrumanalysator			
	Hersteller	Typ	SN	RMS-Detector
1	Rohde & Schwarz	FSH 6	101617	X
2	Rohde & Schwarz	FSH 3	100551	X
2 B	Anritsu	MS 2651B <sup>1)</sup>	MT42988	
3	Advantest	R3131	81780482	
4	Rohde & Schwarz	FSH 3	101137	X
5	Advantest	R3131 A	110500909	
6	Rohde & Schwarz	FSH 3	100332	X
7	Rohde & Schwarz	FSH 3	101268	x
8	Rohde & Schwarz	FSH 3		X
9	Rohde & Schwarz	FSL 18	100260	X
10	Anritsu	MT 8220 A	551026	X
11	Rohde & Schwarz	FSL 6	100423	X
11 B	Advantest	R3132 <sup>1)</sup>	101003435	
12	Anritsu	MT 8220 A	512084	X
13	Rohde & Schwarz	FSH 3	100699	X
14	Rohde & Schwarz	FSH 3	100112	X
15	Rohde & Schwarz	FSP 13	100388	X
15 B	Advantest	R3132 <sup>1)</sup>	111000892	
16	Rohde & Schwarz	FSU8	100080	X
17	Rohde & Schwarz	FSL 18	101130	X
18	Rohde & Schwarz	FSH 8		X
19	Narda	SRM 3006	C-0034	X
20	Rohde & Schwarz	FSH 8	105509	X

Die Teilnehmer arbeiten mit ihren eigenen Messgeräten. Die Identifikation der Teilnehmer und ihrer Messausrüstung erfolgt über eine numerische Teilnehmer-ID und die Seriennummern (SN) der Messgeräte.

In den nebenstehenden Tabelle sind die verwendeten Spektrumanalysatoren aufgeführt, in der nachfolgenden Tabelle die Messantennen.

Teilnehmer, die nicht über alle Standardantennen verfügen, haben sich die fehlenden Typen von einem anderen Teilnehmer ausgeliehen.

SN = Seriennummer

<sup>1)</sup> Nur für die Geräteprüfung, nicht für Ringmessungen verwendet.

Teiln. ID	Antennen (mit SN je Teilnehmer) <sup>2)</sup>									
	E log.-per.					E bikonisch			E isotrop	
	USLP 9143	UKLP 9140 <sup>3)</sup>	ESLP 9145	HE 300 CE <sup>3,4)</sup>	STLP 9148 <sup>3)</sup>	SBA 9113	SBA 9113 B	EFS 9218	UBBA 9114 <sup>3)</sup>	3-Axis 3501 <sup>3,5)</sup>
1	103									
2	132						367	106		
3	179							105		
4	251							101		
5	214					251				
6	118					189		147		
7						224				
8		121								
9			246				360	186		
10						226			172	
11	198						362	102		
11 B	242									
12			243				363	204		
13	273									
14	356						365	166		
15	208				120			110		
16				100654						
17	382		256				142	195		
18	269						380			
19										D-0043
20	287						364		208	

SN = Seriennummer

<sup>2)</sup> Antennenhersteller: Schwarzbeck, falls nicht anders angegeben

<sup>3)</sup> Der Antennentyp wird nur von einzelnen Teilnehmern verwendet und stellt im Rahmen dieser Ringmessungen keine Standardantenne dar.

<sup>4)</sup> Antennenhersteller: Rohde & Schwarz

<sup>5)</sup> Antennenhersteller: Narda

## 4 Begriffsbestimmungen

In diesem Protokoll werden die folgenden Begriffsdefinitionen zugrunde gelegt:

### Kalibrierung

Überprüfung der Abweichung bestimmter Messgeräteparameter (z.B. Frequenzgang) vom herstellerseitig spezifizierten Verlauf. Die für die Kalibrierung verwendeten Messgeräte sind rückführbar auf die Normale der PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt). In das Ergebnis geht die Messunsicherheit der für die Überprüfung verwendeten Messgeräte und der Prüflinge ein.

### Messgeräteüberprüfung

Überprüfung der Abweichung bestimmter Messgeräteparameter (z.B. Frequenzgang) vom herstellerseitig spezifizierten Verlauf. Es handelt sich hier um keine Kalibrierung, da die für die Überprüfung verwendeten Messgeräte (Spektrumanalysator mit Mitlaufgenerator) nicht dokumentiert rückführbar auf die Normale der PTB sind. In das Ergebnis geht die Messunsicherheit der für die Überprüfung verwendeten Messgeräte und der Prüflinge ein.

### Messgerätevergleich

Mit identischen Messgeräteeinstellungen und Umgebungsparametern nimmt eine Person den Messgerätevergleich für alle zu untersuchenden Geräte vor. Durch exakt definierte Rahmenbedingungen wird der Einfluss der Handhabung auf ein vernachlässigbares Maß reduziert. In das Messergebnis geht im Wesentlichen die Messunsicherheit der verwendeten Messgeräte inkl. der Rechenwerte für Antennenfaktor und Kabeldämpfung ein.

### Ringmessung

Mit identischen Messgeräteeinstellungen messen die Teilnehmer selbst an einem vorgegebenen Messpunkt in definiertem Abstand zu der Hochfrequenzquelle. Bei der Handhabung der Messantenne wird die Schwenkmethode angewendet. In das Messergebnis gehen die Messunsicherheit der verwendeten Messgeräte – inkl. der Rechenwerte für Antennenfaktor und Kabeldämpfung – und die Messunsicherheit der Handhabung ein.

Der in den Auswertungen dokumentierte Feldstärkepegel  $F$  in  $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$  (bzw.  $\text{dB}\mu\text{A}/\text{m}$  bei der Magnetantenne) setzt sich zusammen aus:

$$F [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = \text{gemessener Spannungspegel} [\text{dB}\mu\text{V}] + \text{Antennenfaktor} [\text{dB}/\text{m}] + \text{Kabeldämpfung} [\text{dB}].$$

Antennenfaktor und Kabeldämpfung sind frequenzabhängig.

Die Berechnung des Feldstärkepegels aus dem gemessenen Antennenspannungspegel wird von den Teilnehmern selbst durchgeführt.

Die Teilnehmer führen für jede Messaufgabe jeweils drei Messungen direkt nacheinander durch, um Auskunft über die teilnehmerindividuelle Streuung zu erhalten. Die Antennenspannungspegel werden in einem vom Veranstalter vorbereiteten Formular durch den Teilnehmer dokumentiert und die Feldstärkepegel gemäß obiger Formel berechnet. Die Feldstärkepegel werden an einem zentralen Datenerfassungsplatz in eine Excel-Datei übertragen. Die Excel-Auswertungen – als Tabellen und Graphiken – sind in dem vorliegenden Protokoll dokumentiert.

     Ausreißer (orange markiert) fließen nicht in die Berechnung der statistischen Größen „Standardabweichung der Gruppe“, „Mittelwert der Gruppe“ und „Median der Gruppe“ ein.

     Messergebnisse des Analysators Narda SRM 3006 (Teilnehmer 19, grau markiert) fließen ebenfalls nicht in die Berechnung dieser statistischen Daten ein, da das Gerät über eine isotrope Antenne verfügt. Mit isotropen Antennen werden i.d.R. ca. 2-3 dB höhere Messergebnisse erzielt als mit Richtantennen (z.B. log-per).

Die Auswertungen der Ringmessungen und insbesondere eventuelle Auffälligkeiten/Abweichungen vom Median bzw. Mittelwert der Gruppe wurden am Ende eines jeden Workshop-Tages direkt mit den Teilnehmern besprochen und die möglichen Ursachen diskutiert.

     Ausreißer, deren Ursache bei der Besprechung der Ergebnisse im Workshop erkannt wurde, wurden direkt korrigiert (hellgrün markiert). Die korrigierten Werte gehen in die Statistik ein.

## 5 Messgeräteüberprüfung

### Spektrumanalysatoren

Die Überprüfung der Spektrumanalysatoren erfolgte bei den drei Frequenzen 900 MHz, 1.800 MHz und 2.700 MHz mittels Signalgenerator bei der Detectoreinstellung Max. Peak. Die Ergebnisse sind im u.a. Diagramm zusammengefasst.

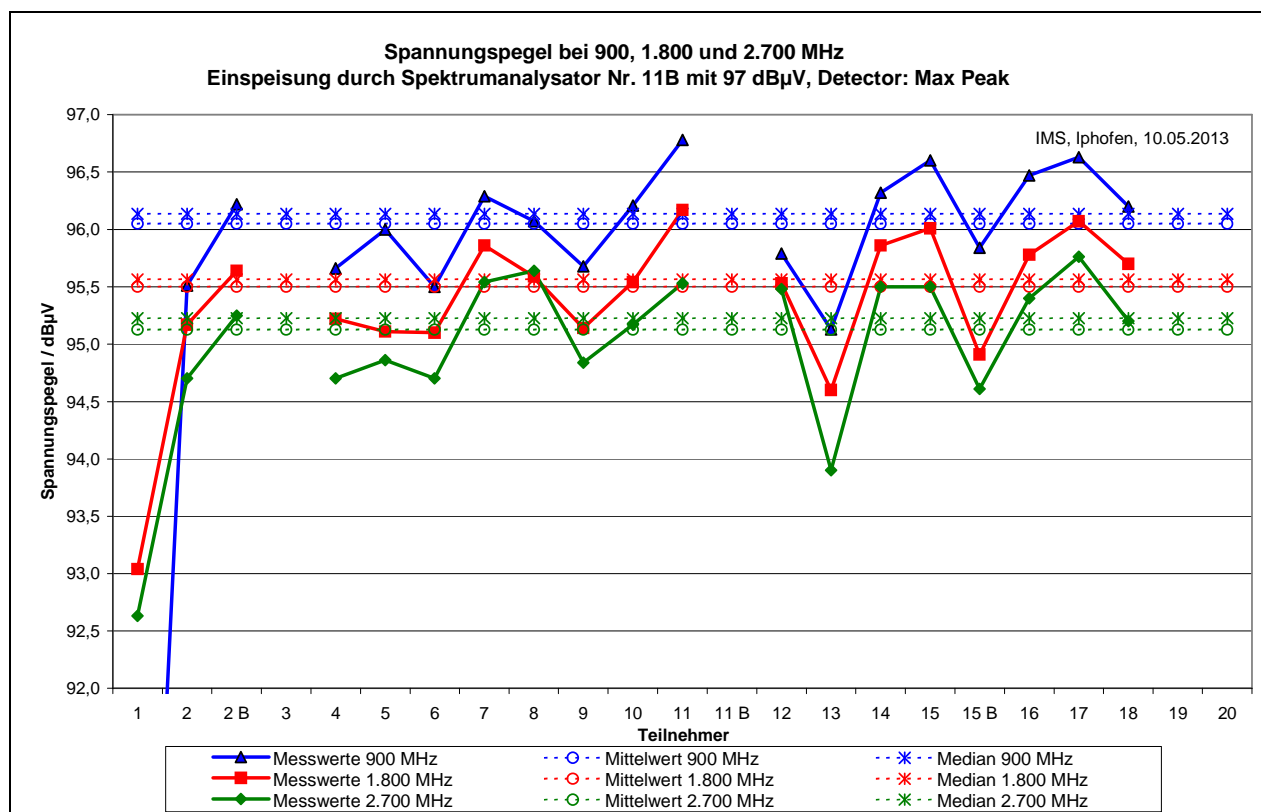
Der Spektrumanalysator 1 weist bei 900 MHz eine Abweichung vom Mittelwert resp. Median der Gruppe von  $-9,3$  bzw.  $-9,4$  dB auf. Bei 1800 MHz beträgt die Abweichung noch  $-2,5/-2,5$  dB und bei 2700 MHz  $-2,5/-2,6$  dB. Hier ist von einem frequenzabhängigen Gerätedefekt auszugehen, der sich auch in den Ringmessungen widerspiegelt.

Der Analysator wurde vom Teilnehmer nach den Ringmessungen dem Hersteller zur Reparatur übersandt, der eine Platine auf Kulanz austauschte.

Während die Abweichungen aller übrigen Teilnehmer unter 1 dB, typischerweise sogar unter 0,5 dB liegen, betragen die Abweichungen des Analysators von Teilnehmer 13 ca. 1 dB und mehr. Hier sollte zeitnah eine Kalibrierung durchgeführt werden.

Der Spektrumanalysator von Teilnehmer 15 wies bei dieser Überprüfung keine Auffälligkeit auf. Bei den Ringmessungen mit RMS-Detector zeigte sich aber, dass bei Signalen mit relevantem Crestfaktor deutliche Abweichungen zu verzeichnen waren. Das Gerät wurde anschließend zum Herstellerservice eingeschickt, wo sich ein Defekt des RMS-Detectors herausstellte.

Die Pegel aller Analysatoren (mit Ausnahme des defekten Gerätes Nr. 1) sinken einheitlich mit jedem 900MHz-Schritt etwa um 0,5 dB. Die individuellen Abweichungen vom Mittelwert bzw. Median der Gruppe bleiben dabei weitestgehend gleich. Für diesen Effekt kann prinzipiell auch ein mit zunehmender Frequenz entsprechend sinkender Pegel des Generators samt Verbindungskabel verantwortlich sein. Wie eine nachträgliche Überprüfung gezeigt hat, ist für diesen Effekt das verwendete Kabel verantwortlich. Bei zukünftigen Analysatorüberprüfungen wird dies berücksichtigt werden.



## Antennenkabel

Die Überprüfung erfolgte an einem Spektrumanalysator mit Tracking Generator im Frequenzbereich 100 kHz bis 3 GHz.

Da etliche Teilnehmer über mehrere Antennenkabel verfügen, wurden insgesamt 36 Kabel überprüft. Bei 9 der 36 Kabel (entspricht 25 %) erwies sich die Dämpfung als zu hoch.

Bei den Kabeln mit der Beurteilung „Dämpfung zu hoch“ wird empfohlen, diese besonders im Focus zu halten, um eine eventuelle weitere Verschlechterung frühzeitig zu bemerken, wenn die Dämpfung nur leicht erhöht ist. Liegt die gemessene IST-Dämpfung aber deutlich (typischerweise > 1,5 dB) über dem SOLL max, so wird ein umgehender Austausch empfohlen.

## Messantennen

Die Überprüfung erfolgte an einem Spektrumanalysator mit Tracking Generator, einer Sende- und einer Referenz-Empfangsantenne für die Normalisierung der Prüfeinrichtung. Die Referenz-Empfangsantenne wurde dann gegen die einzelnen Prüflinge ausgetauscht.

Alle Antennen wurden auf Grund der Überprüfung als „in Ordnung“ befunden.

## 6 Messgerätevergleich GSM 900

Hier wird überprüft, wie groß die Streuung der einzelnen Messausrüstungen unter gleichen Messbedingungen ist. Der Einfluss der persönlichen Handhabung wird so gering wie möglich gehalten. Zum Einsatz gelangt jeweils das gesamte Messsystem eines Teilnehmers, bestehend aus Spektrumanalysator, Antennenkabel und log.-per. Antenne USLP 9143 bzw. ESLP 9145.

### Vorgehensweise

Der Messgerätevergleich wurde am 09. Mai 2013 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Auf der Freifläche vor dem Schulungszentrum wurde ein Stativ an einem fest definiertem Punkt aufgestellt, so dass die in der Stativhalterung fixierte Antenne direkt auf die GSM900-Mobilfunksendeanlagen ausgerichtet war, die im Bereich der Siloanlagen der REA-Gips-Aufbereitung der Fa. Knauf in ca. 200 m Entfernung montiert sind.

Nach der Warmlaufphase des Spektrumanalysators des jeweiligen Teilnehmers wurde dessen Antenne durch die testende Person in der Antennenhalterung auf dem Stativ fixiert. Nach der Erfassung des Signals (Max Hold) wurde die Antenne wieder entnommen, kurz geschwenkt, wieder auf dem Stativ fixiert und eine neue Messung gestartet. Dieser Vorgang wurde insgesamt dreimal durchgeführt.

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Center Frequency:	952,6 MHz
	Ausgewertet wird der Pegel des dominierenden Organisationskanals bei 952,6 MHz
Span:	5 MHz
Filterbandbreite RBW:	100 kHz
Videobandbreite VBW:	1 MHz
Detector:	RMS (soweit vorhanden, ansonsten Max Peak bei Teiln. 2B, 3, 5, 11B und 15B)
Sweep Time:	300 ms (Max Peak 100 ms)
Trace:	Max Hold



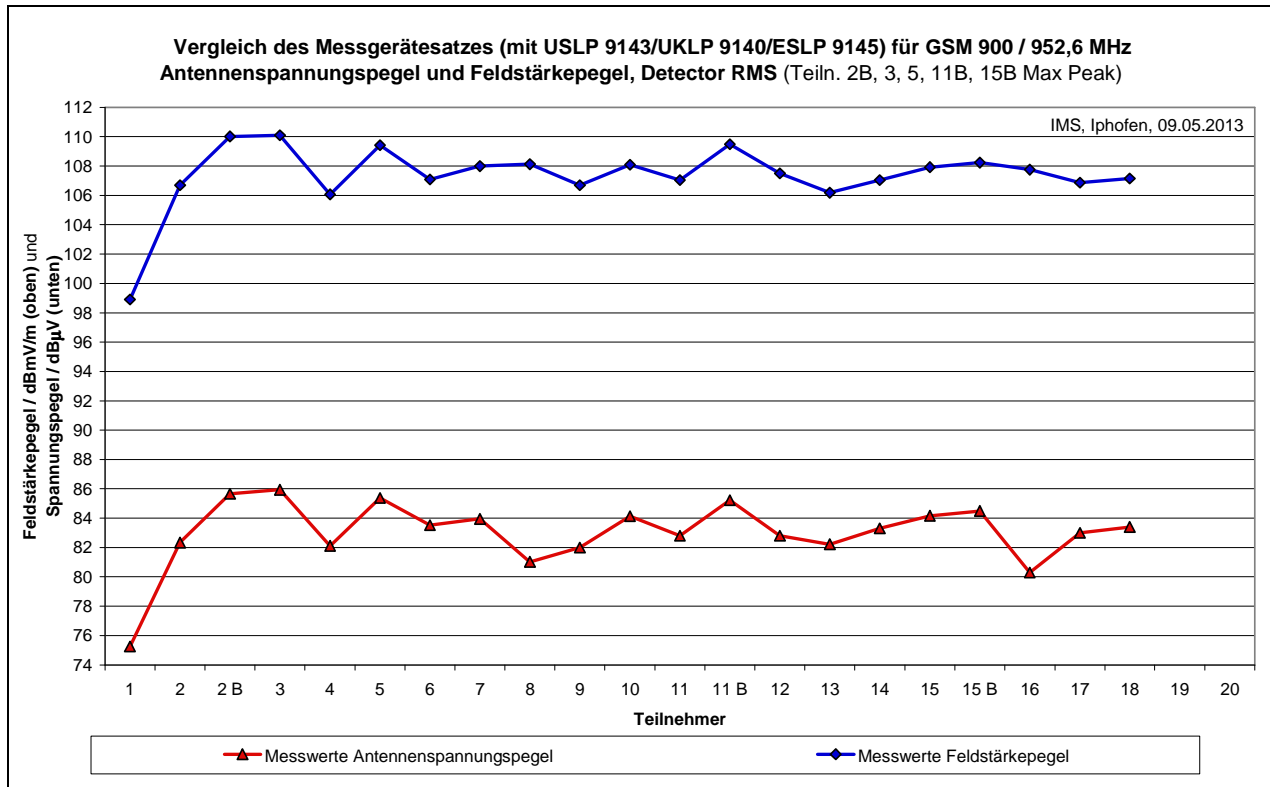
### Messergebnisse

Ohne den Ausreißer Nr. 1 beträgt die Standardabweichung der Gruppe 1,5 dB (Spannungspegel) bzw. 1,2 dB (Feldstärkepegel).

Die Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem selben Messsystem ist bei einer persönlichen Standardabweichung von 0,1 dB bis maximal 0,5 dB als sehr gut zu bezeichnen.

Beim Feldstärkepegel beträgt die Abweichung des persönlichen Mittelwerts der einzelnen Messsysteme vom Mittelwert der Gruppe ohne den Ausreißer Nr. 1 maximal  $-1,7 / +2,3$  dB, vom Median maximal  $-1,5 / +2,5$  dB.

Der Analysator Nr. 15 ist bei diesem Messgerätevergleich völlig unauffällig, obwohl mit dem RMS-Detector gemessen wurde. Bei den Ringmessungen stellte sich aber heraus, dass Signale mit hohem Crestfaktor von diesem Gerät mit dem RMS-Detector offensichtlich nicht zuverlässig korrekt gemessen werden. Bei zukünftigen Messgerätevergleichen empfiehlt es sich daher, die Funktion des RMS-Detectors mit einem konstanten Signal zu überprüfen, das einen hohen Crestfaktor aufweist (z.B. DVB-T, WLAN mit Datentransfer, LTE um die Mittenfrequenz, Rauschsignal o.ä.) und nicht mit einem GSM-Signal, dessen Crestfaktor nahezu 0 dB beträgt.



## 7 Ringmessung GSM 900

### 7.1 Identifikation der fünf stärksten Organisationskanäle GSM 900

Direkt gegenüber dem Messpunkt befinden sich in ca. 200 m Entfernung GSM900-Mobilfunk-sendeanlagen.

Die Teilnehmer sollten die fünf stärksten Organisationskanäle (BCCH) identifizieren.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse wiedergegeben.

Frequenz (MHz)	Teilnehmer-ID																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
923,0		X	X		X		X													
929,0	X	X		X			X			X										
931,2	X	X	X	X	X	X	X			X		X		X						
931,6	X	X								X										
932,0	X	X		X	X					X										
934,6	X	X		X	X															
936,2	X	X	X	X	X	X	X			X		X		X						
942,8	X	X		X	X	X	X			X		X		X						
952,2	X	X				X														
952,6		X	X	X	X	X	X			X		X		X						
955,8	X	X	X	X	X	X	X			X		X		X						
958,6	X	X		X		X				X		X								
<b>Methode</b>																				
max / min				X		X	X			X										
max / avg												X								
avg / min																				
avg																				
Zero Span		X																		

### 7.2 Pegelmessung GSM 900 Organisationskanal 952,6 MHz

#### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung GSM 900 wurde am 09. Mai 2013 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Im großen Schulungsraum waren im seitlichen Abstand von 6 m nebeneinander und im Abstand von 2 m zur Glasfront zwei Messpunkte am Boden markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

Die dominierende Mobilfunksendeanlage GSM 900 befindet sich im Bereich der Siloanlagen der REA-Gips-Aufbereitung der Fa. Knauf in ca. 200 m Entfernung. Es besteht direkter Sichtkontakt durch die Glasfront des Gebäudes. Die Glasscheiben des Schulungszentrums weisen ein älteres Herstellungsdatum auf und sind nicht metallbedampft.

Messantenne: USLP 9143 / ESLP 9145, log.-per.

Spektralbereich: 925 ... 960 MHz (Span 35 MHz)  
Ausgewertet wird aus dem gesamten Spektralbereich nur der Pegel des dominierenden Organisationskanals bei 952,6 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 100 kHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak

Sweep Time: 100 ms

Trace: Max Hold



## Messergebnisse

### Messergebnisse mit Ausreißern

### GSM 952,6 MHz, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m					persönl. Std.Abw.	Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.			
1	FSH 6	105,29	105,46	104,89	105,2	0,2	-7,2	-8,2	
2	FSH 3	114,28	113,15	113,01	113,5	0,6	1,1	0,1	
3	R 3131/3132	114,97	114,94	113,55	114,5	0,7	2,1	1,1	
4	FSH 3	113,07	113,60	113,36	113,3	0,2	1,0	0,0	
5	R 3131	112,84	114,42	113,90	113,7	0,7	1,3	0,3	
6	FSH 3	112,40	111,60	111,90	112,0	0,3	-0,4	-1,4	
7	FSH 3	111,76	113,69	113,38	112,9	0,8	0,6	-0,4	
8	FSH 3								
9	FSL 18	113,83	113,77	114,03	113,9	0,1	1,5	0,5	
10	MT 8220 A	114,89	114,02	114,71	114,5	0,4	-1,0	-0,9	
11	FSL 6	116,81	115,82	116,47	116,4	0,4	0,8	1,0	
12	MT 8220 A	112,71	112,11	112,21	112,3	0,3	-3,2	-3,1	
13	FSH 3	116,30	114,80	115,40	115,5	0,6	0,0	0,1	
14	FSH 3	115,70	114,50	114,10	114,8	0,7	-0,8	-0,6	
15	FSP 13	117,40	118,40	118,80	118,2	0,6	2,7	2,8	
16	FSU 8	117,98	117,38	118,32	117,9	0,4	2,4	2,5	
17	FSL 18	115,81	115,61	115,28	115,6	0,2	0,0	0,2	
18	FSH 8	115,30	114,40	114,40	114,7	0,4	-0,8	-0,7	
19	SRM 3006								
20	FSH 8								

Standardabweichung der Gruppe:

Mittelwert der Gruppe:

Median der Gruppe:

2,8	MP 1
112,4	
113,4	

Standardabweichung der Gruppe:

Mittelwert der Gruppe:

Median der Gruppe:

1,8	MP 2
115,5	
115,4	

Bemerkungen:

Nr. 1: Gerätedefekt

Nr. 15: Falscher Antennenfaktor

### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer und mit Korrektur von Teilnehmer 15 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe 1 deutlich von 2,8 auf 0,9 dB. Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich nur mehr um 0,2 statt 1,0 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,1 dB bzw. -1,4 dB, vom Median der Gruppe +0,9 bzw. -1,6 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung in Gruppe 1 beträgt 0,8 dB, die niedrigste 0,1 dB.

### Messpunkt 2:

Die Standardabweichung der Gruppe 2 reduziert sich ohne Ausreißer und mit Korrektur von Teilnehmer 15 leicht von 1,8 auf 1,5 dB. Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich lediglich um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,7 dB bzw. -3,2 dB, vom Median der Gruppe +2,8 bzw. -3,1 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung in Gruppe 2 beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Damit sind die Abweichungen in Gruppe 2 tendenziell etwas höher als in Gruppe 1. Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 1,8 dB, die Mediane um 1,7 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der nachfolgenden Graphik hervor.

Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.), Nr. 15 korrigiert **GSM 952,6 MHz, Detector Max Peak**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dBµV/m					persönl. Std.Abw.	Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert				
1	FSH 6	105,29	105,46	104,89	105,2	0,2	-8,2	-8,3	
2	FSH 3	114,28	113,15	113,01	113,5	0,6	0,1	-0,1	
3	R 3131/3132	114,97	114,94	113,55	114,5	0,7	1,1	0,9	
4	FSH 3	113,07	113,60	113,36	113,3	0,2	-0,1	-0,2	
5	R 3131	112,84	114,42	113,90	113,7	0,7	0,3	0,2	
6	FSH 3	112,40	111,60	111,90	112,0	0,3	-1,4	-1,6	
7	FSH 3	111,76	113,69	113,38	112,9	0,8	-0,5	-0,6	
8	FSH 3								
9	FSL 18	113,83	113,77	114,03	113,9	0,1	0,5	0,3	
10	MT 8220 A	114,89	114,02	114,71	114,5	0,4	-0,7	-0,8	
11	FSL 6	116,81	115,82	116,47	116,4	0,4	1,2	1,1	
12	MT 8220 A	112,71	112,11	112,21	112,3	0,3	-2,9	-3,0	
13	FSH 3	116,30	114,80	115,40	115,5	0,6	0,3	0,2	
14	FSH 3	115,70	114,50	114,10	114,8	0,7	-0,4	-0,5	
15	MT 8220 A	114,20	115,60	116,00	115,3	0,8	0,1	0,0	
16	FSU 8	117,98	117,38	118,32	117,9	0,4	2,7	2,6	
17	FSL 18	115,81	115,61	115,28	115,6	0,2	0,4	0,3	
18	FSH 8	115,30	114,40	114,40	114,7	0,4	-0,5	-0,6	
19	SRM 3006								
20	FSH 8								

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

Median der Gruppe (o.A.):

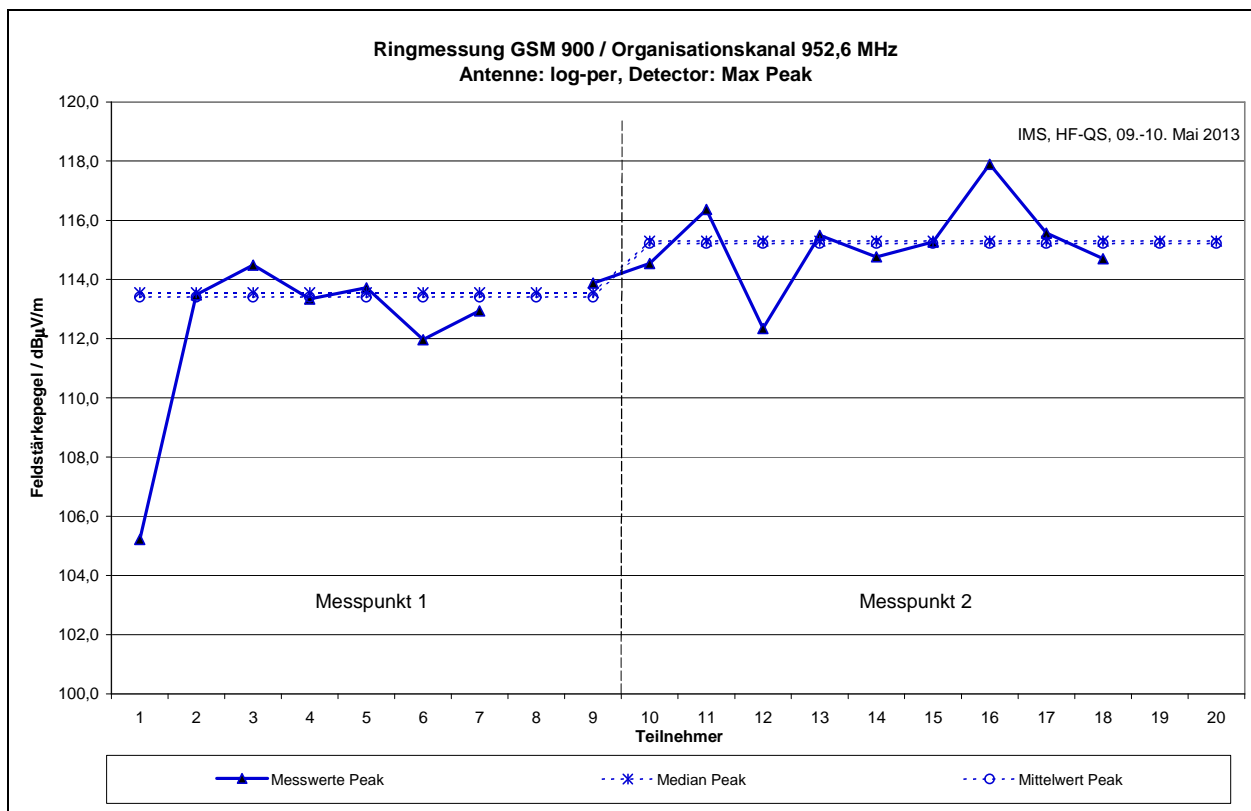
0,9	MP 1
113,4	
113,6	

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

Median der Gruppe (o.A.):

1,5	MP 2
115,2	
115,3	



## 8 Ringmessung UMTS FDD

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die UMTS-Ringmessung wurde am 09. Mai 2013 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Im fensterlosen Trockenbau-Übungsraum war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Das UMTS-Signal wurde von einem Signalgenerator erzeugt (Rohde & Schwarz SMIQ 03B; Level: 0 dBm, Crestfactor CF: 10,9 dB, CPICH-Leistung: 10 % der Gesamtleistung (- 10 dB), dies entspricht der Situation bei Vollauslastung) und über eine auf den Messpunkt gerichtete Hornantenne abgestrahlt.

Die Entfernung zwischen Sendeantenne und Messpunkt betrug 6 m.

Damit ist das verwendete Signal zeitlich konstant und unterliegt keinen Lastschwankungen, wie sie sonst an realen UMTS-Anlagen anzutreffen sind. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse der Teilnehmer und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den verschiedenen Messverfahren.

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

#### Messgeräteeinstellungen Channel Power

Center Frequency: 2.127,6 MHz  
Span: 5 MHz  
Measure: Channel Power  
Channel Bandwidth: 4 MHz  
Filterbandbreite RBW: 30 kHz  
Videobandbreite VBW: 300 kHz  
Detector: Max Peak und RMS  
Sweep Time: 100 ms (Max Peak) und 500 ms (RMS)  
Trace: Max Hold

#### Messgeräteeinstellungen Codeselektive Messung

Center Frequency: 2.127,6 MHz  
Detector: RMS  
Pilotkanal: CPICH

## 8.1 UMTS Channel Power

### Detector: Max Peak

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 1,6 dB auf 1,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer lediglich um 0,1 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +2,4 dB bzw. -2,1 dB, vom Median der Gruppe ebenfalls +2,4 bzw. -2,1 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,9 dB, die niedrigste 0,1 dB.

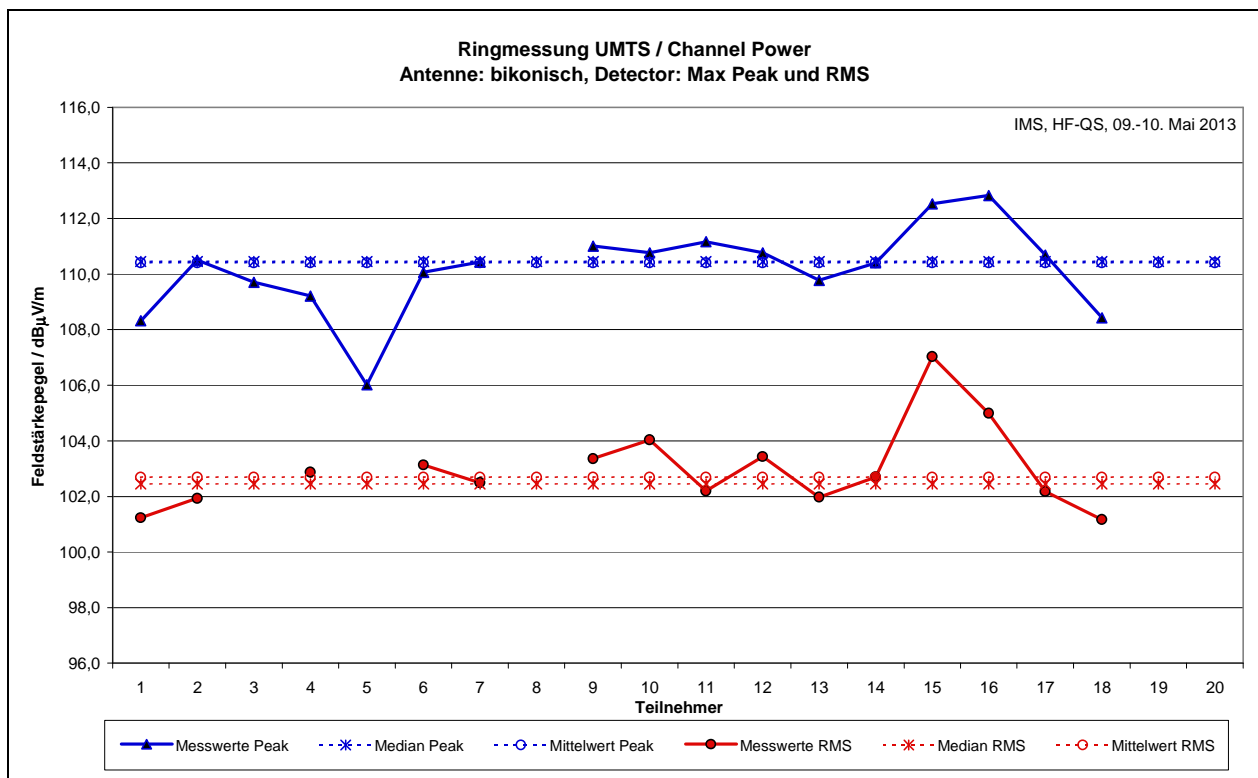
### Detector: RMS

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 1,6 dB auf 1,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer lediglich um 0,2 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +2,3 dB bzw. -1,5 dB, vom Median der Gruppe +2,5 bzw. -1,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,8 dB, die niedrigste 0,1 dB.



## 8.2 Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe

Der am Signalgenerator eingestellte Crestfaktor betrug 10,9 dB. Aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	110,4 – 102,7 = 7,7	110,5 – 102,5 = 8,0

Mit 7,7 bis 8,0 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus (ca. 3 dB) als der Crestfaktor des Sendesignals.

Hieraus kann geschlossen werden, dass bei der Messung „over the air“ entweder der Peak-Wert unterbewertet oder der RMS-Wert überbewertet wird.

## 8.3 Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten

Zur Kontrolle wird hier der Crestfaktor aus den weniger stark verdichteten persönlichen Mittelwerten gebildet. Denn es ist prinzipiell möglich, dass bei der hohen Verdichtung der Daten bei der Bildung von Mittelwert und Median wesentliche Informationen „unscharf“ werden.

Hier ergeben sich aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte die folgenden Crestfaktoren.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	FSH 6	108,32	101,24	7,08
2	FSH 3	110,50	101,93	8,57
3	R 3131/3132	109,71		
4	FSH 3	109,21	102,88	6,33
5	R 3131	106,02		
6	FSH 3	110,07	103,13	6,93
7	FSH 3	110,43	102,49	7,94
8	FSH 3			
9	FSL 18	111,01	103,36	7,64
10	MT 8220 A	110,77	104,03	6,73
11	FSL 6	111,16	102,20	8,97
12	MT 8220 A	110,76	103,43	7,33
13	FSH 3	109,77	101,97	7,80
14	FSH 3	110,40	102,70	7,70
15	FSP 13	112,53	107,03	5,50
16	FSU 8	112,83	104,99	7,84
17	FSL 18	110,69	102,18	8,51
18	FSH 8	108,43	101,17	7,27
19	SRM 3006			
20	FSH 8			

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

0,7
-----

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

7,6
-----

Median der Gruppe (o.A.):

7,7
-----

Die so ermittelten Crestfaktoren unterscheiden sich nicht signifikant von den im vorigen Kapitel aus Mittelwert und Median der Gruppe ermittelten Faktoren.

## 8.4 UMTS Codeselektive Messung CPICH

### CPICH, RMS

Ohne Ausreißer und ohne Teilnehmer 19 mit isotroper Antenne reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,9 dB auf 2,0 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

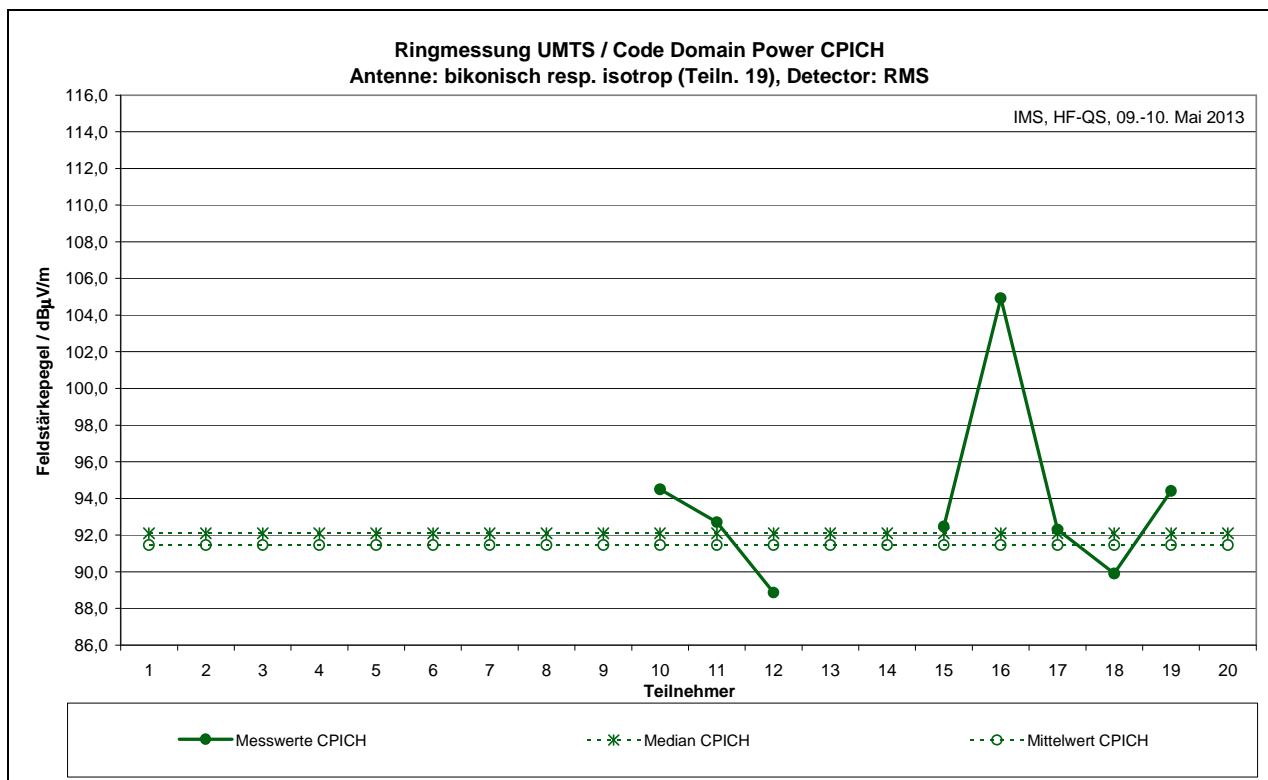
Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,7 dB.

Ohne Ausreißer und ohne Teilnehmer 19 beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +3,0 dB bzw. -2,6 dB, vom Median der Gruppe +2,4 bzw. -3,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 2,4 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Teilnehmer 19 mit der isotropen Antenne liegt im Messergebnis um 3 dB über dem Mittelwert und um 2,3 dB über dem Median der Gruppe.

Tendenziell ist hier die Streubreite der Messergebnisse bei der codeselektiven Messung des CPICH höher als bei typischen Filter Sweep- und Channel Power-Messungen.





### Mindestimmission: CPICH + 3 dB, RMS

Der CPICH sendet in der Praxis üblicherweise mit 10 % der möglichen Maximalleistung einer UMTS-Basisstation. Die übrigen permanent aktiven Pilotkanäle arbeiten typischerweise mit 50 - 60 % der CPICH-Leistung; dies entspricht einer Erhöhung der Leistung für alle permanent aktiven Piloten von 2 dB (Faktor 1,6) gegenüber dem CPICH-Pegel. Die codeselektiv gemessene CPICH-Immission mit einem Aufschlag von 2 dB entspricht somit der Mindest-Immission.

Der Einfachheit halber wird in der Messpraxis oft pauschal ein Zuschlag von 3 dB anstatt der 2 dB gewählt. Zur Bestimmung der Mindestimmission wird auch hier für die Auswertung der Ringmessung der gemessene CPICH-Wert um 3 dB erhöht.

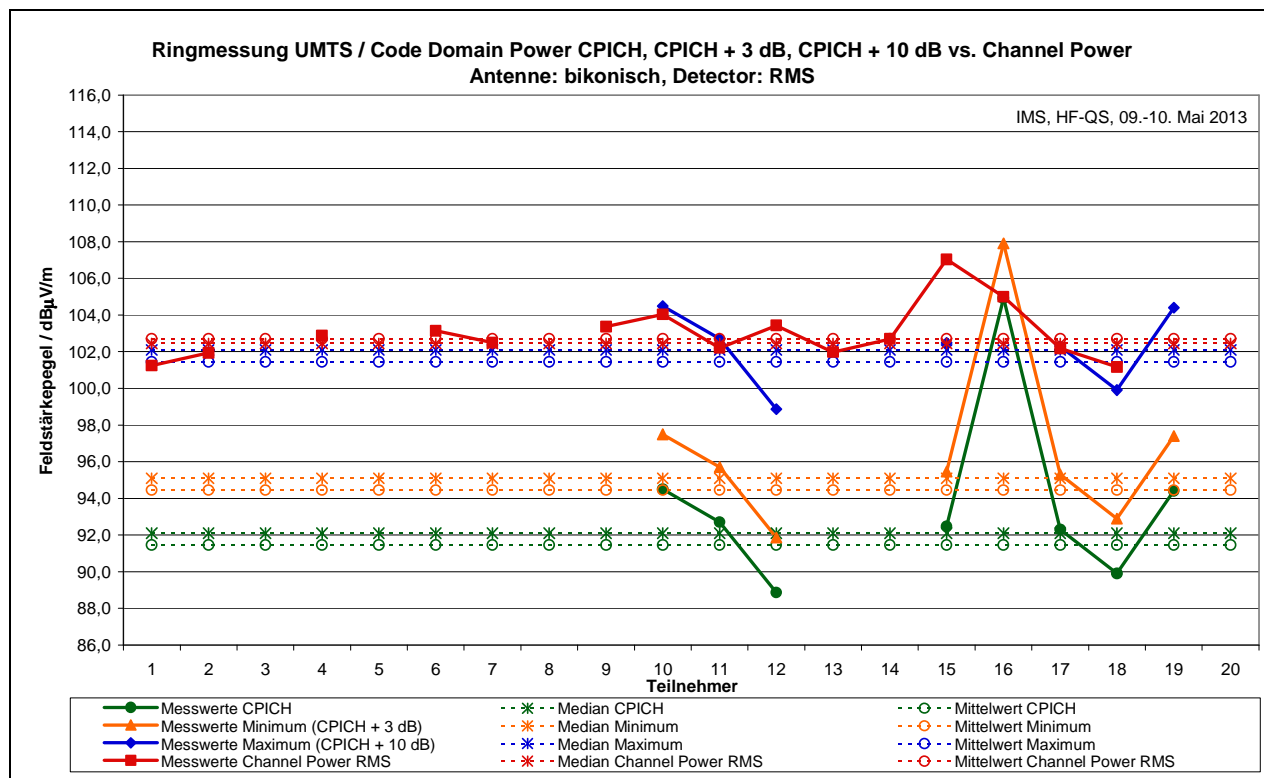
### Maximalimmission: CPICH + 10 dB, RMS

Der CPICH sendet in der Praxis üblicherweise mit 10 % der möglichen Maximalleistung einer UMTS-Basisstation. Die codeselektiv gemessene CPICH-Immission mit einem Aufschlag von 10 dB entspricht somit der Maximal-Immission bei Vollast. Diese Randbedingungen waren auch bei dem hier für die Ringmessungen verwendeten Signalgenerator eingestellt.

Vergleicht man die mittels CPICH-Messung ermittelten und hochgerechneten Werte für die Maximalimmission mit den RMS-Messwerten der Channel Power Messungen, so zeigt sich, dass die Unterschiede von (101,4 – 102,7) dB = 1,3 dB (Mittelwert) bzw. (102,1 – 102,5) dB = 0,4 dB (Median) gut übereinstimmen und beide Messverfahren im Rahmen der für die Spektrumanalyse typischen Messunsicherheit identische Ergebnisse bringen.

Der Vergleich der codeselektiven Messungen mit den Channel Power Messungen ist hier zulässig, weil der verwendete Signalgenerator ein konstantes UMTS-Signal mit voller Verkehrslast ausgesendet hat, bei dem die CPICH-Leistung 10 % der Gesamtleistung (– 10 dB) entspricht.

Bei Messungen an realen UMTS-Basisstationen im Feld ist bei der Channel Power-Messung dagegen nicht bekannt, mit welcher Auslastung die Basisstation gerade arbeitet bzw. wie sich möglicherweise die Auslastung sogar während des Messzeitraums geändert hat.



## 9 Ringmessung DVB-T

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die DVB-T-Ringmessung wurde am 09. Mai 2013 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Im großen Schulungsraum war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Das DVB-T-Signal für den UHF-Bereich (Kanalbandbreite 8 MHz) wurde von einem Signalgenerator erzeugt (Rohde & Schwarz Broadcast Tester SFE, Crestfaktor CF = 12,0 dB) und über eine auf den Messpunkt gerichtete log.per.-Antenne (USLP 9143) abgestrahlt.

Die Entfernung zwischen Sendeantenne und Messpunkt betrug 7 m.

Messantenne: USLP 9143 / UKLP 9140 / ESLP 9145, log.-per.

### Messgeräteeinstellungen Channel Power

Center Frequency:	650 MHz
Span:	10 MHz
Measure:	Channel Power
Channel Bandwidth:	8 MHz
Filterbandbreite RBW:	100 kHz
Videobandbreite VBW:	1 MHz
Detector:	Max Peak und RMS
Sweep Time:	100 ms (Max Peak) und 500 ms (RMS)
Trace:	Max Hold

### 9.1 DVB-T Channel Power-Messung

#### Detector Max Peak

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,3 dB auf 1,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer lediglich um 0,1 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +1,9 dB bzw. -1,8 dB, vom Median der Gruppe +2,0 bzw. -1,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,1 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

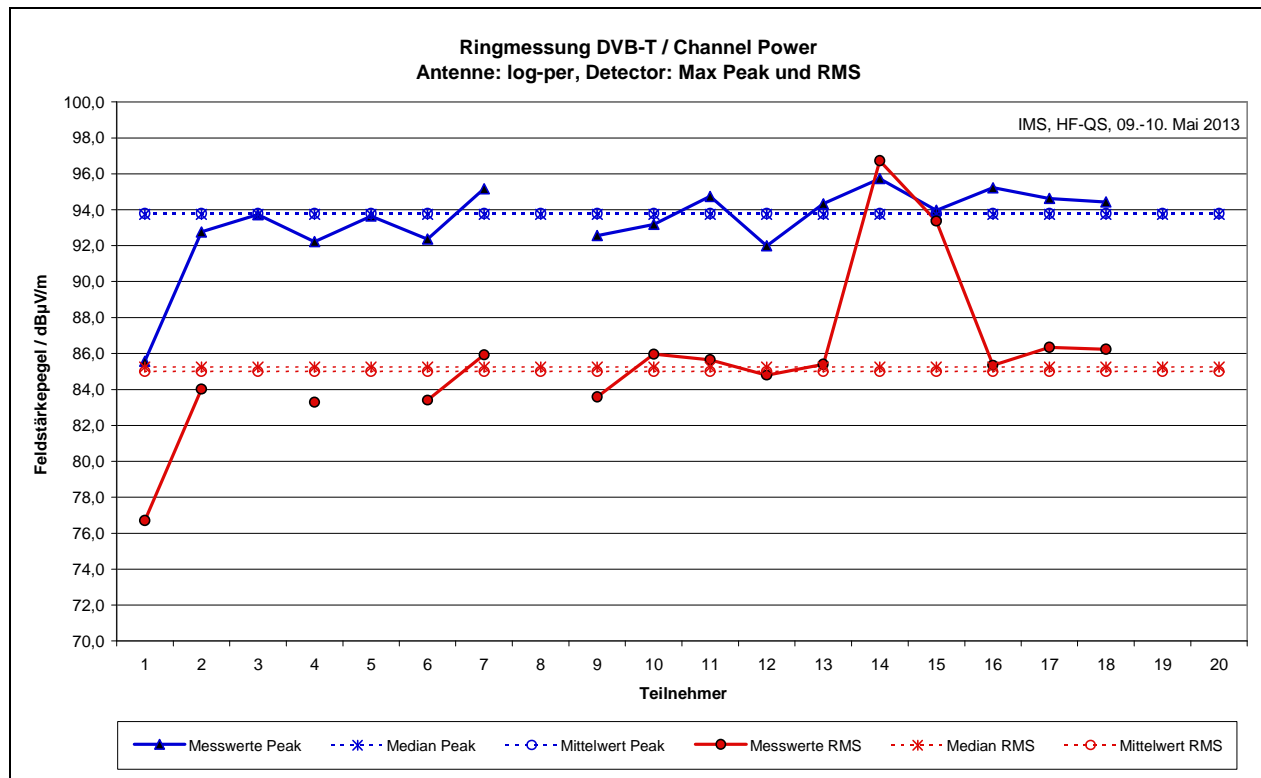
#### Detector: RMS

Ohne Ausreißer und mit Korrektur von Nr. 16 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe deutlich von 4,6 dB auf 1,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,2 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +1,4 dB bzw. -1,7 dB, vom Median der Gruppe +1,1 bzw. -2,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,6 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.



## 9.2 Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe

Der am Signalgenerator eingestellte Crestfaktor betrug 12,0 dB. Aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	93,8 – 85,0 = 8,8	93,7 – 85,2 = 8,5

Mit 8,5 bis 8,8 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus (ca. 3 bis 3,5 dB) als der Crestfaktor des Sendesignals.

Hieraus kann geschlossen werden, dass bei der Messung „over the air“ entweder der Peak-Wert unterbewertet oder der RMS-Wert überbewertet wird.

## 9.3 Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten

Zur Kontrolle wird hier der Crestfaktor aus den weniger stark verdichteten persönlichen Mittelwerten gebildet. Denn es ist prinzipiell möglich, dass bei der hohen Verdichtung der Daten bei der Bildung von Mittelwert und Median wesentliche Informationen „unscharf“ werden.

Hier ergeben sich aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte die folgenden Crestfaktoren.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	FSH 6	85,58	76,70	8,88
2	FSH 3	92,76	84,01	8,75
3	R 3131/3132	93,73		
4	FSH 3	92,22	83,29	8,93
5	R 3131	93,65		
6	FSH 3	92,37	83,40	8,97
7	FSH 3	95,17	85,93	9,24
8	FSH 3			
9	FSL 18	92,56	83,59	8,97
10	MT 8220 A	93,19	85,96	7,23
11	FSL 6	94,74	85,65	9,10
12	MT 8220 A	91,99	84,79	7,20
13	FSH 3	94,33	85,40	8,93
14	FSH 3	95,73	96,73	-1,00
15	FSP 13	93,97	93,37	0,60
16	FSU 8	95,22	85,34	9,88
17	FSL 18	94,63	86,35	8,28
18	FSH 8	94,43	86,23	8,20
19	SRM 3006			
20	FSH 8			

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

Median der Gruppe (o.A.):

0,7
8,5
8,9

Die so ermittelten Crestfaktoren unterscheiden sich nicht signifikant von den im vorigen Kapitel aus Mittelwert und Median der Gruppe ermittelten Faktoren.

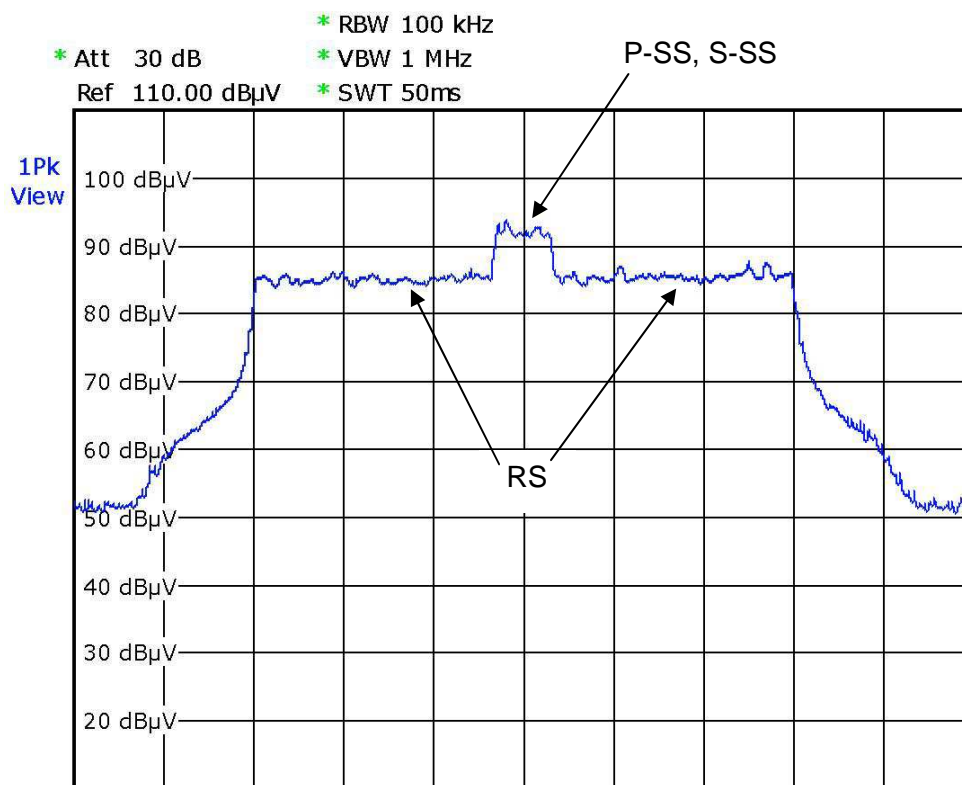
## 10 Ringmessung LTE FDD an einer Basisstation (eNodeB)

### Randbedingungen / Messgeräteinstellungen

Die LTE-Ringmessung an einer Basisstation (eNodeB) wurde am 09. Mai 2013 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Im großen Schulungsraum waren im seitlichen Abstand von 6 m nebeneinander und im Abstand von 2 m zur Glasfront zwei Messpunkte am Boden markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

Die dominierende LTE-Mobilfunksendeanlage befindet sich im Bereich der Siloanlagen der REA-Gips-Aufbereitung der Fa. Knauf in ca. 200 m Entfernung. Es besteht direkter Sichtkontakt durch die Glasfront des Gebäudes. Die Glasscheiben des Schulungszentrums weisen ein älteres Herstellungsdatum auf und sind nicht metallbedampft.

Die Mittenfrequenz des dominierenden LTE-Signals betrug 806 MHz, die Signalbandbreite 9 MHz (Kanalbandbreite 10 MHz).



Exemplarisches Spektrogramm eines LTE-Signals mit 10 MHz Kanalbandbreite (9 MHz Signalbandbreite) im Leerlauf. Deutlich sichtbar sind um die Centerfrequenz herum mit einer Bandbreite von ca. 1 MHz die im Pegel gegenüber den RS erhöhten Synchronisationskanäle P-SS und S-SS.

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

Messgeräteeinstellungen Filter Sweep, RBW 1 MHz

Start Frequency: 791 MHz

Stop Frequency: 821 MHz

Ausgewertet wird aus dem Spektralbereich der maximale Pegel des Frequenzblocks bei der Mittenfrequenz 806 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 1 MHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak und RMS

Sweep Time: Max Peak: 50 ms

RMS: Analysatorspezifisch in Abhängigkeit von der Anzahl Sweep Points des Displays so, dass auf ein Pixel eine Zeitspanne von 70  $\mu$ s abgebildet wird.

Trace: Max Hold

Messgeräteeinstellungen Channel Power, Synchronisationskanäle in Bandmitte

Center Frequency: 806 MHz

Span: 1,5 MHz

Measure: Channel Power

Channel Bandwidth: 0,93 MHz

Filterbandbreite RBW: 30 kHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak und RMS

Sweep Time: Max Peak: 50 ms

RMS:

a) Analysatorspezifisch in Abhängigkeit von der Anzahl Sweep Points des Displays so, dass auf ein Pixel eine Zeitspanne von 70  $\mu$ s abgebildet wird.

b) 200 ms, d.h. > 70  $\mu$ s pro Pixel

Trace: Max Hold



## 10.1 LTE eNodeB, Filter Sweep, RBW 1 MHz

### Detector: Max Peak

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,0 dB auf 1,7 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,2 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,9 dB bzw. -1,7 dB, vom Median der Gruppe ebenso +1,7 bzw. -1,9 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,9 dB, die niedrigste 0,1 dB.

#### Messpunkt 2:

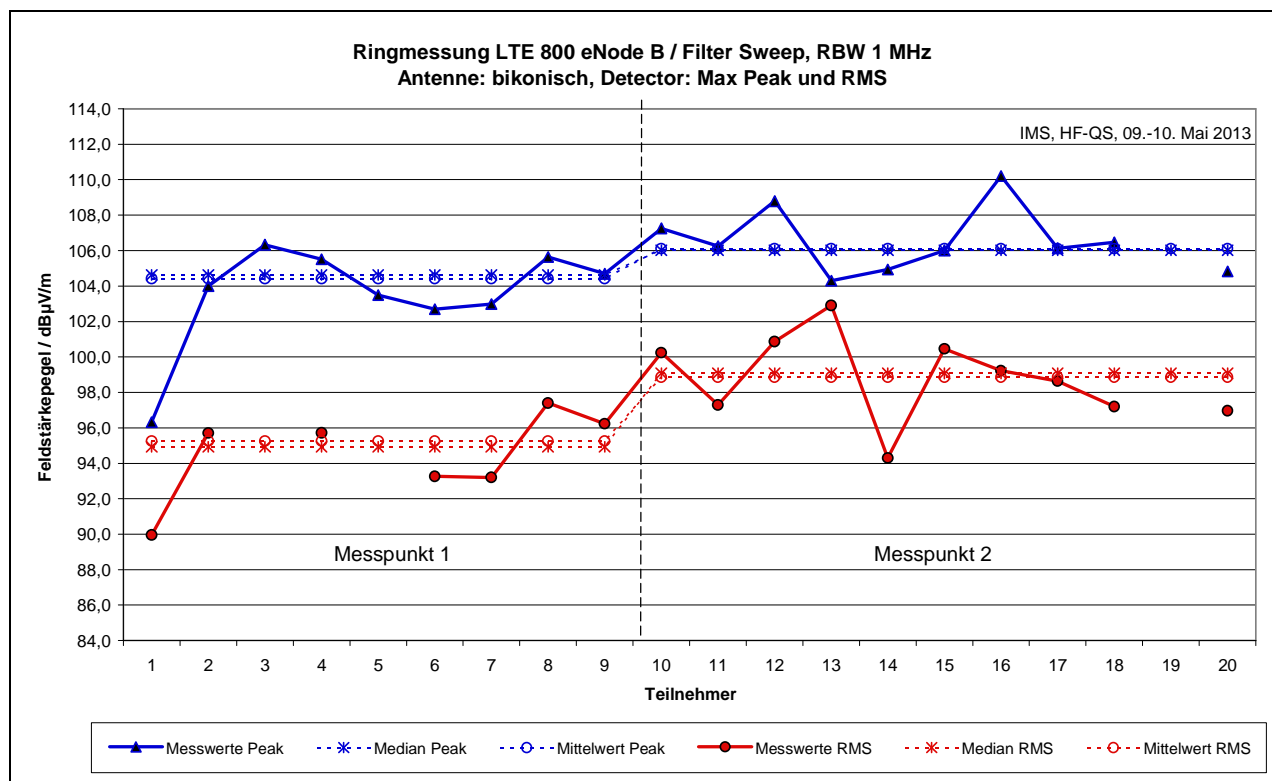
Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,1 dB auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,7 dB bzw. -1,8 dB, vom Median der Gruppe +2,8 bzw. -1,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 2,2 dB, die niedrigste 0,3 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 1,7 dB, die Mediane um 1,4 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei vielen Teilnehmern für beide Messmethoden gleich.

## **Detector: RMS**

### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,6 dB auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,1 dB bzw. -2,0 dB, vom Median der Gruppe +2,5 bzw. -1,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,3 dB, die niedrigste 0,9 dB.

### Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,3 dB auf 1,6 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,2 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,0 dB bzw. -1,9 dB, vom Median der Gruppe +1,8 bzw. -2,1 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,8 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 3,6 dB, die Mediane um 4,2 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der obigen Graphik hervor.

## 10.2 LTE eNodeB, Channel Power, Channel Bandwidth 0,93 MHz, Synchronisationkanäle

### Detector: Max Peak

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,8 dB auf 1,7 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,6 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +3,0 dB bzw. -1,9 dB, vom Median der Gruppe +3,5 bzw. -1,4 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,8 dB, die niedrigste 0,2 dB.

#### Messpunkt 2:

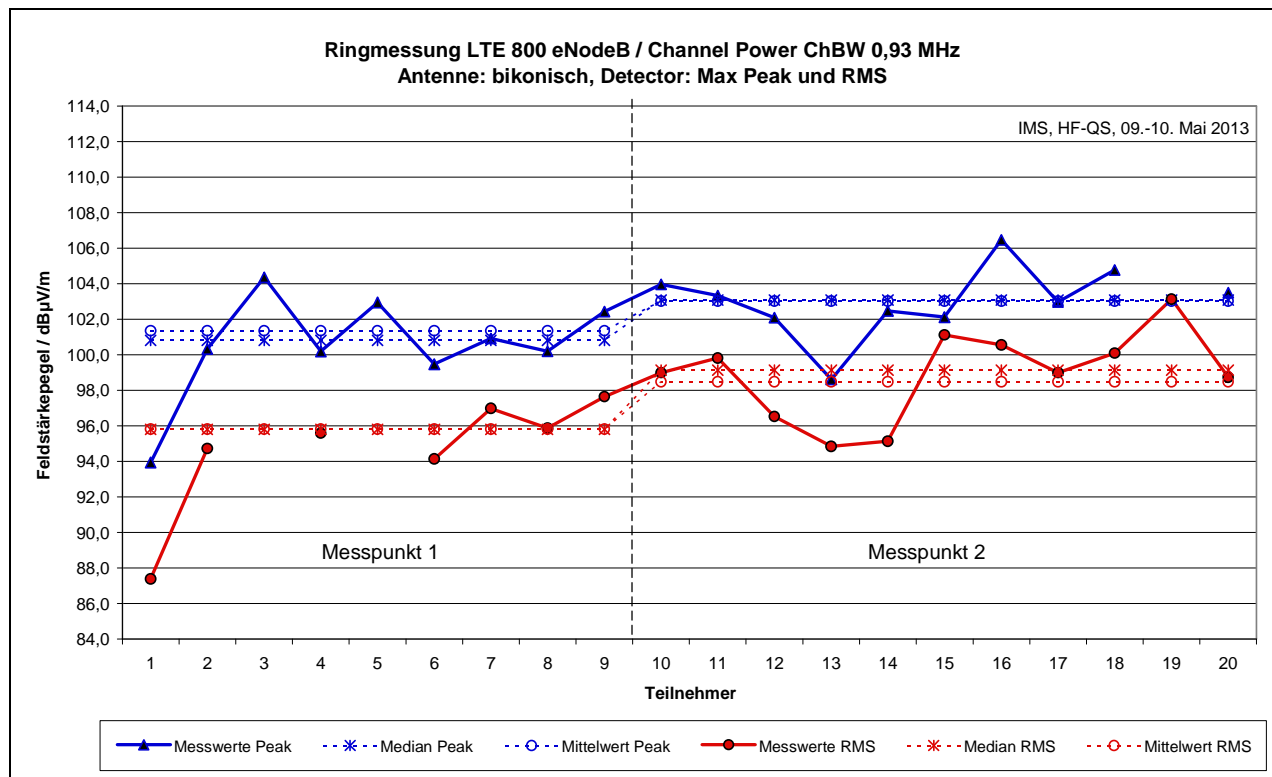
Mit Korrektur und ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB auf 2,0 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mit Korrektur und ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit Korrektur und ohne Ausreißer +3,4 dB bzw. -4,4 dB, vom Median der Gruppe +3,4 bzw. -4,5 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,5 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 1,6 dB, die Mediane um 2,3 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern für beide Messmethoden gleich.

## **Detector: RMS, Sweeptime analysatorspezifisch mit 70 µs pro Sweep Point**

### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 1,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer sind Mittelwert und Median der Gruppe identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,8 dB bzw. -1,7 dB, vom Median der Gruppe ebenfalls +1,8 bzw. -1,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,5 dB, die niedrigste 0,2 dB.

### Messpunkt 2:

Mit Korrektur, ohne Ausreißer und ohne die Ergebnisse mit isotroper Antenne (Teilnehmer 19) reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,4 dB auf 2,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mit Korrektur, ohne Ausreißer und ohne die Ergebnisse mit isotroper Antenne unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,6 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit Korrektur, ohne Ausreißer und ohne die Ergebnisse mit isotroper Antenne +2,6 dB bzw. -3,6 dB, vom Median der Gruppe +2,0 bzw. -4,3 dB.

Bei den Messungen mit isotroper Antenne fallen die Abweichungen vom Mittelwert der Gruppe mit 4,7 dB und vom Median der Gruppe mit 4,0 dB vergleichsweise recht hoch aus, zumal die übrigen Messungen mit bikonischen Antennen durchgeführt wurden. Hier wäre erfahrungsgemäß nur etwa 1 dB zu erwarten. Die Differenzen von 4,7 resp. 4,0 dB wären selbst für einen Vergleich mit log-per-Antennen recht hoch.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 2,7 dB, die Mediane um 3,3 B. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der obigen Graphik hervor.

## **Detector: RMS, Sweeptime 200 ms (> 70 µs pro Sweep Point)**

### Messpunkt 1:

In Gruppe 1 gibt es keine Ausreißer. Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,5 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,7 dB bzw. -1,7 dB, vom Median der Gruppe +3,1 bzw. -1,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,0 dB, die niedrigste 0,1 dB.

### Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer und ohne die Ergebnisse mit isotroper Antenne reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,4 dB auf 2,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer und ohne die Ergebnisse mit isotroper Antenne +3,1 dB bzw. -4,2 dB, vom Median der Gruppe +3,0 bzw. -4,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,7 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 3,1 dB, die Mediane um 3,6 dB.

### 10.3 LTE eNodeB: Vergleich der Channel Power-Messungen mit RMS-Detector und unterschiedlichen Sweepzeiten

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse zusammengestellt.

	Sweeptime analysatorspezifisch mit 70 $\mu$ s pro Pixel		Sweeptime 200 ms	
	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2
Mittelwert	95,8	98,5	92,0	95,1
Median	95,8	99,1	91,6	95,2

Hieraus ergeben sich folgende Unterbewertungen in dB für die Sweeptime 200 ms:

	MP 1	MP 2
Mittelwert	$95,8 - 92,0 = 3,8$	$98,5 - 95,1 = 3,4$
Median	$95,8 - 91,6 = 4,2$	$99,1 - 95,2 = 3,9$

Die Unterbewertungen sind erheblich und liegen etwa bei 3,5 bis 4 dB.

Die Messergebnisse belegen, wie wichtig es ist, dass bei LTE-Messungen mit dem RMS-Detector die Sweepzeit so eingestellt wird, dass die Verweilzeit von 70  $\mu$ s pro Pixel nicht überschritten wird.

### 10.4 LTE eNodeB: Vergleich der Filter Sweep- mit den Channel Power-Messungen 0,93 MHz

Um die Ergebnisse der beiden Messverfahren miteinander vergleichen zu können, muss zunächst mit den bandbreitenspezifischen Faktoren jeweils auf maximale Auslastung hochgerechnet werden. Diese Hochrechnung ist in den folgenden vier Tabellen dargestellt.

Die Hochrechnungsfaktoren werden aus den folgenden Bandbreitenverhältnissen ermittelt:

Filter Sweep (RBW 1 MHz):                      Signalbandbreite / RBW

Channel Power (ChBW 0,93 MHz):        Signalbandbreite / ChBW

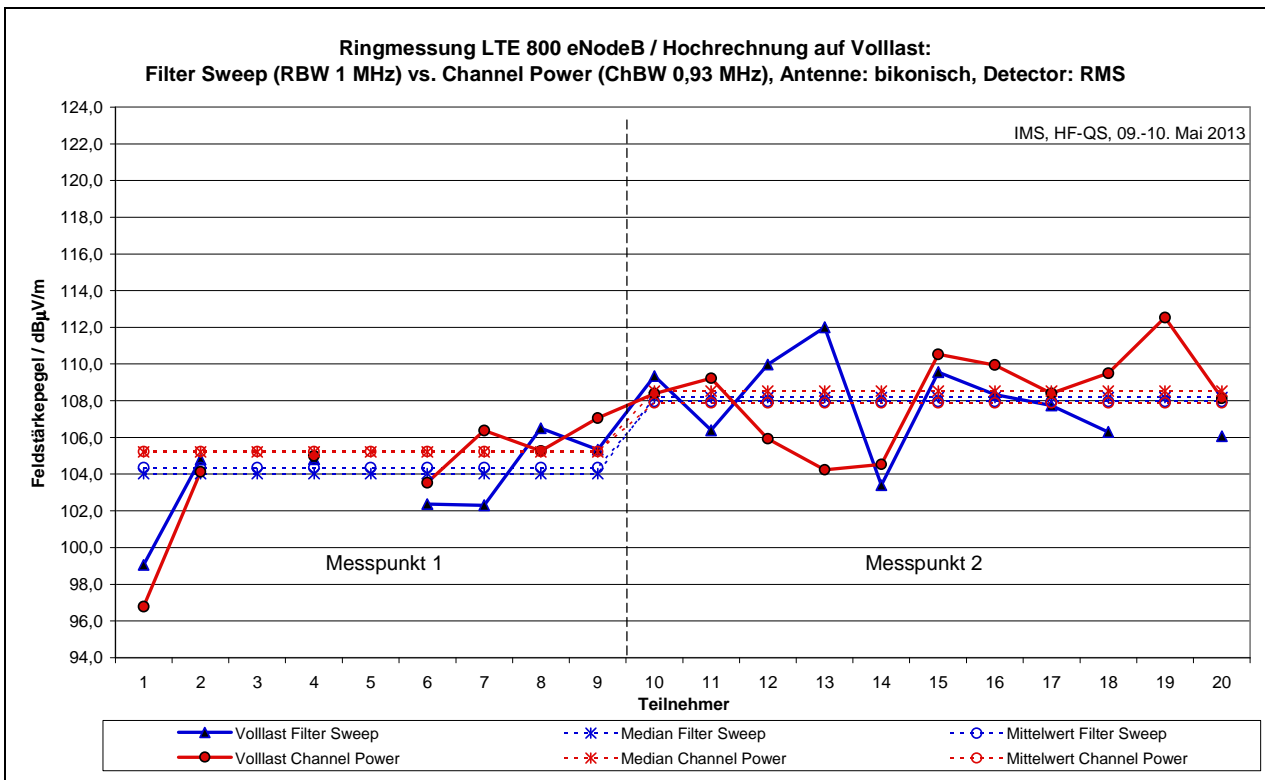
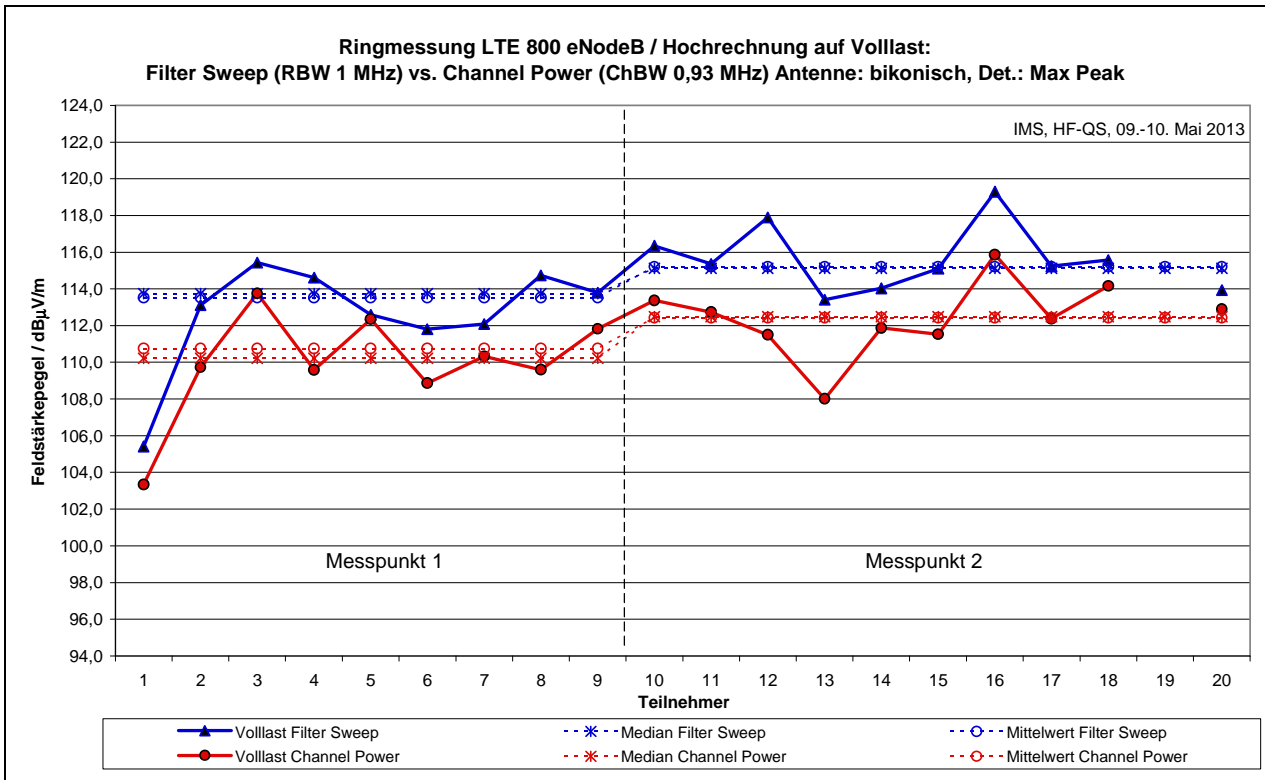
Dabei wird bei der Filter- und der Channel-BW jeweils die Rauschbandbreite zugrunde gelegt, die in der Literatur häufig als  $1,1 \cdot \text{RBW}$  bzw.  $1,1 \cdot \text{ChBW}$  angegeben wird; dieser Faktor wird auch hier verwendet.

In anderen Literaturstellen werden auch RBW bzw. ChBW und Rauschbandbreite gleich gesetzt, der Faktor 1,1 entfällt dann.

In Dezibel ergeben sich mit dem Faktor 1,1 folgende Hochrechnungsfaktoren:

Filter Sweep (RBW 1 MHz):                       $10 \log (9 \text{ MHz} / (1,1 \cdot 1 \text{ MHz})) \text{ dB} = 9,1 \text{ dB}$

Channel Power (ChBW 0,93 MHz):             $10 \log (9 \text{ MHz} / (1,1 \cdot 0,93 \text{ MHz})) \text{ dB} = 9,4 \text{ dB}$





In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Hochrechnungen zusammengestellt.

<u>Messpunkt 1</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	113,5	104,4	110,8	105,2
Median	113,7	104,0	110,2	105,2

<u>Messpunkt 2</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	115,2	108,0	112,4	107,9
Median	115,1	108,2	112,5	108,5

Hieraus ergeben sich folgende Differenzen in dB für die Hochrechnung Filter Sweep bezogen auf die Hochrechnung Channel Power:

#### Messpunkt 1

Mittelwert Peak:  $113,5 - 110,8 = 2,7$

Mittelwert RMS:  $104,4 - 105,2 = -0,8$

Median Peak:  $113,7 - 110,2 = 3,5$

Median RMS:  $104,0 - 105,2 = -1,2$

#### Messpunkt 2

Mittelwert Peak:  $115,2 - 112,4 = 2,8$

Mittelwert RMS:  $108,0 - 107,9 = 0,1$

Median Peak:  $115,1 - 112,5 = 2,6$

Median RMS:  $108,2 - 108,5 = -0,3$

Beim Vergleich der Messungen mit dem Peak-Detector liegen an beiden Messpunkten für Mittelwert und Median die Messergebnisse mit Filter Sweep (RBW 1 MHz) ca. 2,5 bis 3,5 dB über denen mit Channel Power (Channel Bandwidth 0,93 MHz).

Der Vergleich der RMS-Messwerte zeigt andere Verhältnisse. Zum einen sind die Differenzen wesentlich kleiner als mit dem Peak-Detector und liegen meist unter 1 dB, lediglich in einem Fall bei 1,2 dB. Zum anderen sind die Differenzen überwiegend negativ, d.h. der Messwert mit Channel Power-Messung ist etwas höher als mit Filter Sweep. Man könnte allerdings auch schlussfolgern, dass mit dem RMS-Detector im Rahmen der Messgenauigkeit kein signifikanter Unterschied zwischen Filter Sweep und Channel Power zu verzeichnen ist.

Eine Erklärung für die unterschiedlichen Effekte bei Peak- und RMS-Detector kann zurzeit nicht gegeben werden.

Die Messungen sollen im QS-Workshop 2014 wiederholt werden, um eine breitere statistische Basis zu erhalten.

### 10.5 LTE eNodeB: Codeselektive Messung (nur Teilnehmer 19)

Der Spektrumanalysator Narda SRM 3006 des Teilnehmers 19 verfügt über die Option der code-selektiven LTE-Messung. Gemessen werden die Pilotkanäle RS0, RS1, P-SS und S-SS am Messpunkt 2.

Für die Auswertung werden hier der RS0 und RS1 herangezogen.

Da die Betreiberdaten der Anlage nicht bekannt waren, wird hier eine typische LTE-Anlagenkonfiguration zugrunde gelegt mit:

- RS-Leistung, gleich für alle Cell IDs: 0,03 W
- Max. Leistung am Senderausgang: 20,00 W

Hieraus ergibt sich ein Hochrechnungsfaktor von RS-Leistung auf max. Sendeleistung von 27,8 dB.

Messung Nr.

Cell ID

RS 0 [dBµV/m]

RS 1 [dBµV/m]

Summe RS0 + RS1 [dBµV/m]

Summe Cell ID [dBµV/m]

Summe Cell ID, extrapoliert [dBµV/m]

Summe Cell ID, extrapoliert [mV/m]

Summe Cell ID, extrapoliert [µW/m²]

	Messung 1			Messung 2			Messung 3		
Cell ID	75	76	77	75	76	77	75	76	77
RS 0 [dBµV/m]	82,9	83,2	66,4	82,3	81,0	62,4	82,6	80,6	63,5
RS 1 [dBµV/m]	82,4	80,2	67,9	81,4	79,7	65,7	82,1	80,0	64,7
Summe RS0 + RS1 [dBµV/m]	85,7	85,0	70,2	84,9	83,4	67,4	85,4	83,3	67,2
Summe Cell ID [dBµV/m]	88,4			87,3			87,5		
Summe Cell ID, extrapoliert [dBµV/m]	116,2			115,1			115,3		
Summe Cell ID, extrapoliert [mV/m]	646,9			567,1			583,7		
Summe Cell ID, extrapoliert [µW/m²]	1.110,2			853,2			903,8		

Standardabweichung:

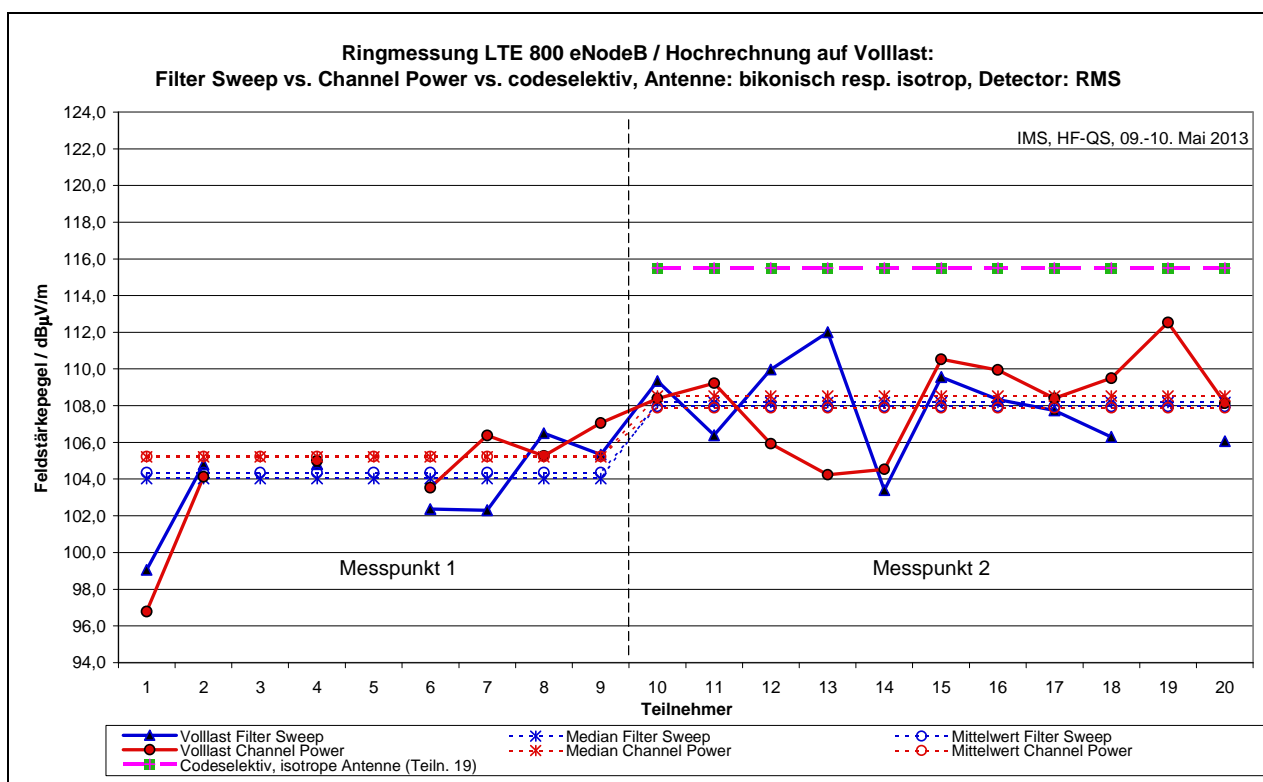
0,5

Mittelwert:

115,5

Median:

115,3



Das Ergebnis der codeselektiven Messung liegt ca. 7 dB über dem Mittelwert von Filter Sweep und Channel Power-Messung. Dies deckt sich gut mit den Erfahrungen aus anderen Messungen und entsprechenden Vergleichen, gleichwohl hier der Extrapolationsfaktor nicht genau bekannt ist und ein typischer Wert angenommen wurde.

## 10.6 LTE eNodeB: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe

Der Crestfaktor bei LTE-Signalen beträgt typischerweise ca. 10 bis 12 dB.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse zusammengestellt.

<u>Messpunkt 1</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	104,4	95,3	101,4	94,6
Median	104,6	94,9	100,8	95,6

<u>Messpunkt 2</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	106,1	98,9	103,0	99,9
Median	106,0	99,1	103,1	99,2

Aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

### Messpunkt 1

Mittelwert Filter Sweep:  $104,4 - 95,3 = 9,1$   
 Median Filter Sweep:  $104,6 - 94,9 = 9,7$   
 Mittelwert Channel Power:  $101,4 - 94,6 = 6,8$   
 Median Channel Power:  $100,8 - 95,6 = 5,2$

### Messpunkt 2

Mittelwert Filter Sweep:  $106,1 - 98,9 = 7,2$   
 Median Filter Sweep:  $106,0 - 99,1 = 6,9$   
 Mittelwert Channel Power:  $103,0 - 99,9 = 3,1$   
 Median Channel Power:  $103,1 - 99,2 = 3,9$

Die Filter Sweep-Messungen an Messpunkt 1 zeigen für Mittelwert und Median der Gruppe Crest Faktoren, die mit knapp 10 dB der Erwartung entsprechen. An Messpunkt 2 liegen diese mit ca. 7 dB um 3 dB und somit signifikant niedriger.

Die Channel Power-Messungen an Messpunkt 1 zeigen für Mittelwert und Median der Gruppe Crestfaktoren, die mit ca. 7 dB (Mittelwert) und ca. 5 dB (Median) erheblich niedriger als bei der Filter Sweep-Messung ausfallen. An Messpunkt 2 tritt der gleiche Effekt auf, so dass sich hier insgesamt Crestfaktoren von nurmehr 3 bis 4 dB ergeben, die weit unter dem zu erwartenden Wert liegen.

### 10.7 LTE eNodeB: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten

Zur Kontrolle wird hier der Crestfaktor aus den weniger stark verdichteten persönlichen Mittelwerten gebildet. Denn es ist prinzipiell möglich, dass bei der hohen Verdichtung der Daten bei der Bildung von Mittelwert und Median wesentliche Informationen „unscharf“ werden.

Hier ergeben sich aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte die folgenden Crestfaktoren.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Filter Sweep		Crestfaktor dB	Channel Power		Crestfaktor dB
		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m			Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		
		Peak	RMS		Peak	RMS	
1	FSH 6	96,31	89,95	6,36	93,94	87,38	6,56
2	FSH 3	104,01	95,70	8,30	100,33	94,73	5,60
3	R 3131/3132	106,33			104,36		
4	FSH 3	105,52	95,72	9,80	100,19	95,59	4,60
5	R 3131	103,49			102,95		
6	FSH 3	102,70	93,27	9,43	99,47	94,13	5,33
7	FSH 3	102,98	93,20	9,78	100,93	96,98	3,94
8	FSH 3	105,63	97,40	8,23	100,20	95,87	4,33
9	FSL 18	104,70	96,23	8,47	102,43	97,65	4,78
10	MT 8220 A	107,25	100,24	7,01	103,96	99,00	4,97
11	FSL 6	106,25	97,29	8,96	103,34	99,82	3,52
12	MT 8220 A	108,79	100,87	7,92	102,10	96,53	5,57
13	FSH 3	104,31	102,91	1,40	98,61	94,84	3,77
14	FSH 3	104,93	94,30	10,63	102,47	95,13	7,33
15	FSP 13	106,00	100,47	5,53	102,13	101,13	1,00
16	FSU 8	110,20	99,23	10,97	106,46	100,55	5,91
17	FSL 18	106,13	98,64	7,50	102,98	99,00	3,98
18	FSH 8	106,47	97,20	9,27	104,77	100,10	4,67
19	SRM 3006					103,13	
20	FSH 8	104,83	96,97	7,87	103,50	98,73	4,77

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

0,7

MP 1

0,8

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

9,0

5,0

Median der Gruppe (o.A.):

9,0

4,8

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,2

MP 2

1,1

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

7,7

4,9

Median der Gruppe (o.A.):

7,9

4,8

Die so ermittelten Crestfaktoren beim Filter Sweep decken sich für beide Messpunkte sehr gut mit den im vorigen Kapitel aus Mittelwert und Median der Gruppen ermittelten Faktoren.

Bei den Channel Power-Messungen liegen dagegen die hier aus den persönlichen Mittelwerten gebildeten Crestfaktoren an MP 1 tendenziell etwas niedriger und an MP 2 um 1 bis 2 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppen gebildeten Crestfaktoren.

Die grundlegende Tendenz, dass die Crestfaktoren bei der Channel Power Messung deutlich niedriger ausfallen als beim Filter Sweep, ist auch bei der hier vorgenommenen Auswertungsmethode über die persönlichen Mittelwerte klar zu erkennen.

## 11 Ringmessung LTE FDD am Signalgenerator, Einstellung Volllast

### Randbedingungen / Messgeräteinstellungen

Die LTE-Ringmessung an einem Signalgenerator wurde am 10. Mai 2013 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, durchgeführt. Am Boden waren im seitlichen Abstand von 2 m nebeneinander zwei Messpunkte markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

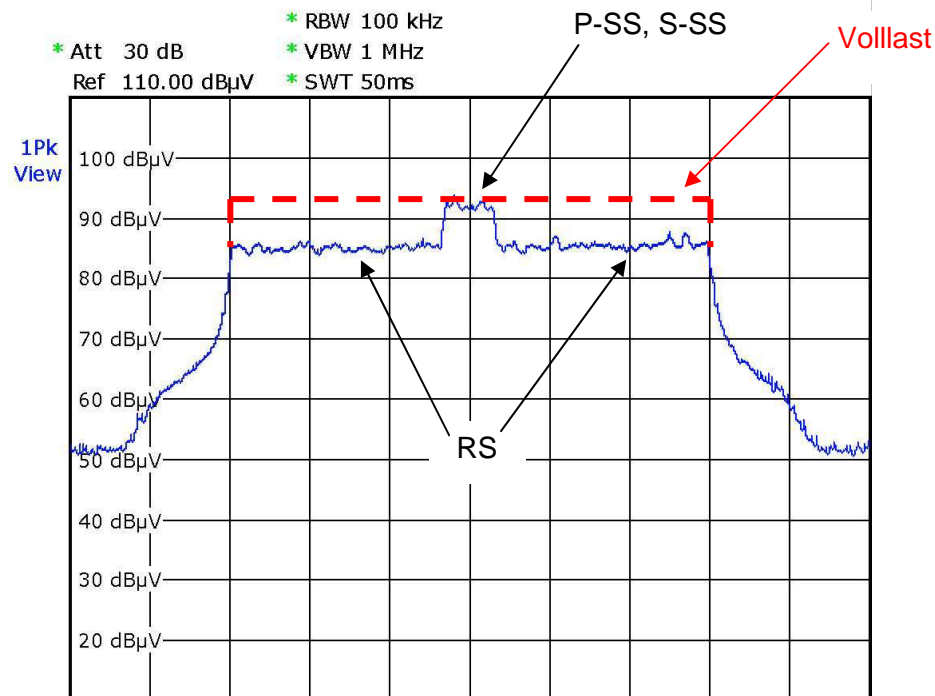
Die Entfernung zwischen Sendeantenne und Messpunkt betrug 4,5 m.

Das LTE-Signal wurde von einem Signalgenerator erzeugt (Rohde & Schwarz SMBV 100A) und über eine auf den Messpunkt gerichtete log-per-Antenne (USLP 9143) mit vertikaler Polarisation abgestrahlt.

Die Mittenfrequenz des LTE-Signals betrug 796 MHz, die Signalbandbreite 9 MHz (Kanalbandbreite 10 MHz).

Der LTE-Generator war so eingestellt, dass die Synchronisationskanäle P-SS und S-SS, die mit einer Bandbreite von ca. 1 MHz um die Mittenfrequenz liegen, mit einem 10 dB höheren Pegel ausgesendet wurden als die Reference Signale RS (in diesem Frequenzbereich liegen bei realen LTE-Anlagen auch die Pilotkanäle PBCH und PDCCH). Dargestellt wurde die Situation bei Volllast, d.h. die Nutzerkanäle wurden mit der gleichen Leistung wie die Synchronisationskanäle gesendet.

Das verwendete Signal ist zeitlich konstant und unterliegt keinen Lastschwankungen, wie sie sonst an realen LTE-Anlagen anzutreffen sind. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse der Teilnehmer bei Channel Power Messungen über die gesamte Signalbandbreite, wie sie hier zum Vergleich mit der Hochrechnung auf Volllast ange stellt wurden.



Spektrumdiagramm des LTE-Signals im Leerlauf. Deutlich sichtbar sind um die Centerfrequenz herum mit einer Bandbreite von ca. 1 MHz die im Pegel gegenüber den RS um 10 dB erhöhten Synchronisationskanäle P-SS und S-SS. Zusätzlich eingezeichnet ist die Situation bei Volllast (gestrichelte rote Linie).

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

Messgeräteeinstellungen Filter Sweep, RBW 1 MHz

Start Frequency: 791 MHz

Stop Frequency: 821 MHz

Ausgewertet wird aus dem Spektralbereich der maximale Pegel des Frequenzblocks bei der Mittenfrequenz 796 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 1 MHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak und RMS

Sweep Time: Max Peak: 50 ms

RMS: Analysatorspezifisch in Abhängigkeit von der Anzahl Sweep Points des Displays so, dass auf ein Pixel eine Zeitspanne von 70  $\mu$ s abgebildet wird.

Trace: Max Hold

Messgeräteeinstellungen Channel Power 0,93 MHz / Synchronisationskanäle in der Bandmitte

Center Frequency: 796 MHz

Span: 1,5 MHz

Measure: Channel Power

Channel Bandwidth: 0,93 MHz

Filterbandbreite RBW: 30 kHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak und RMS

Sweep Time: Max Peak: 50 ms

RMS: Analysatorspezifisch in Abhängigkeit von der Anzahl Sweep Points des Displays so, dass auf ein Pixel eine Zeitspanne von 70  $\mu$ s abgebildet wird.

Trace: Max Hold

Messgeräteeinstellungen Channel Power 10 MHz / Gesamtes Signal

Center Frequency: 796 MHz

Span: 12 MHz

Measure: Channel Power

Channel Bandwidth: 10 MHz

Filterbandbreite RBW: 100 kHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak und RMS

Sweep Time: Max Peak: 50 ms

RMS: Analysatorspezifisch in Abhängigkeit von der Anzahl Sweep Points des Displays so, dass auf ein Pixel eine Zeitspanne von 70  $\mu$ s abgebildet wird.

Trace: Max Hold



### 11.1 LTE Generator mit Volllast, Filter Sweep, RBW 1 MHz

#### Detector: Max Peak

##### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 1,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +1,2 dB bzw. -1,6 dB, vom Median der Gruppe +1,1 bzw. -1,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 1,5 dB, die niedrigste 0,2 dB.

##### Messpunkt 2:

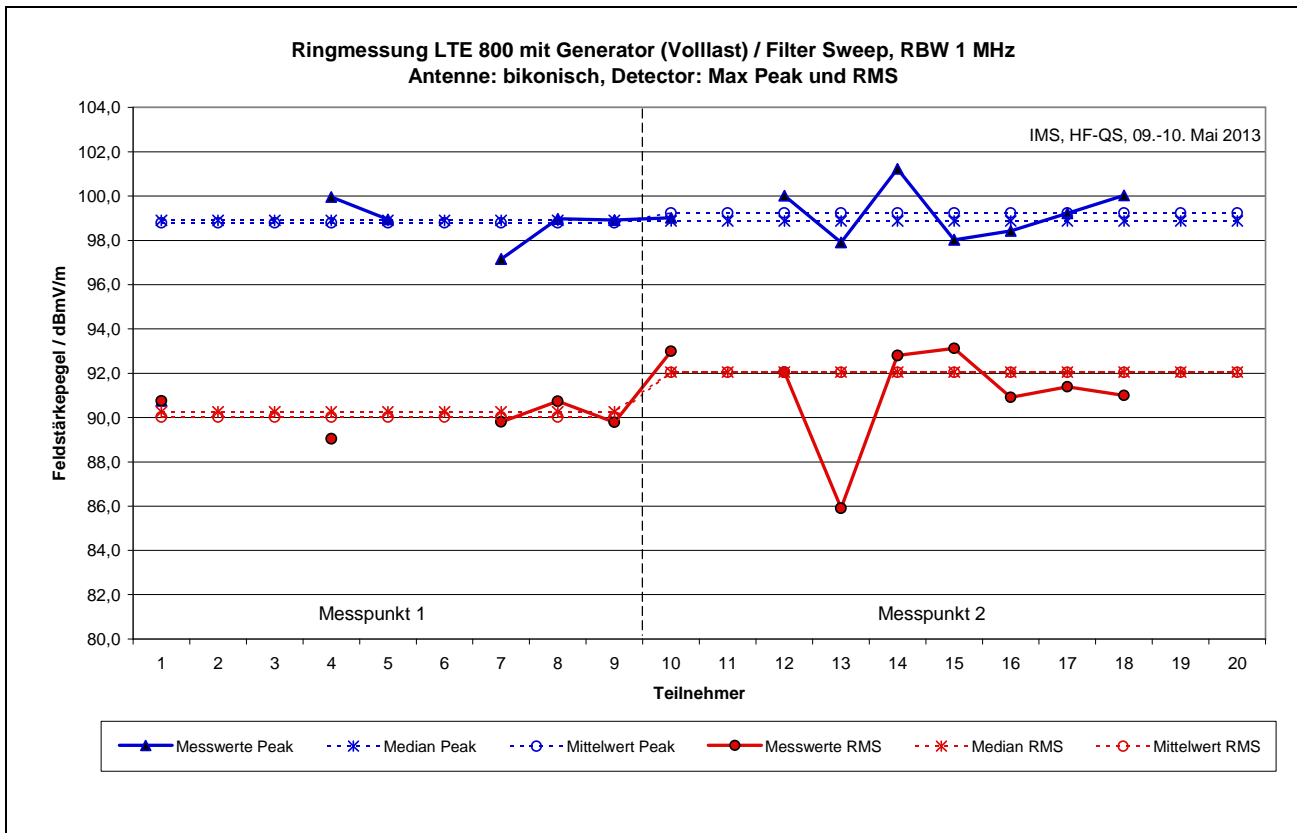
An MP 2 gibt es keine Ausreißer. Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,2 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +2,0 dB bzw. -1,3 dB, vom Median der Gruppe +2,4 bzw. -1,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,9 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,4 dB, die Mediane sind identisch. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



**Detector: RMS**Messpunkt 1:

An MP 1 gibt es keine Ausreißer. Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,0 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +0,7 dB bzw. -1,0 dB, vom Median der Gruppe +0,5 bzw. -1,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,2 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,3 dB auf 1,0 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +1,1 dB bzw. -1,1 dB, vom Median der Gruppe ebenfalls +1,1 bzw. -1,1 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 1,7 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 2,0 dB, die Mediane um 1,8 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der obigen Graphik hervor.

**11.2 LTE Generator mit Volllast, Channel Power ChBW 0,93 MHz (Synchronisationskanäle)****Detector: Max Peak**Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,8 dB auf 2,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,8 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +2,9 dB bzw. -2,9 dB, vom Median der Gruppe +3,7 bzw. -2,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Messpunkt 2:

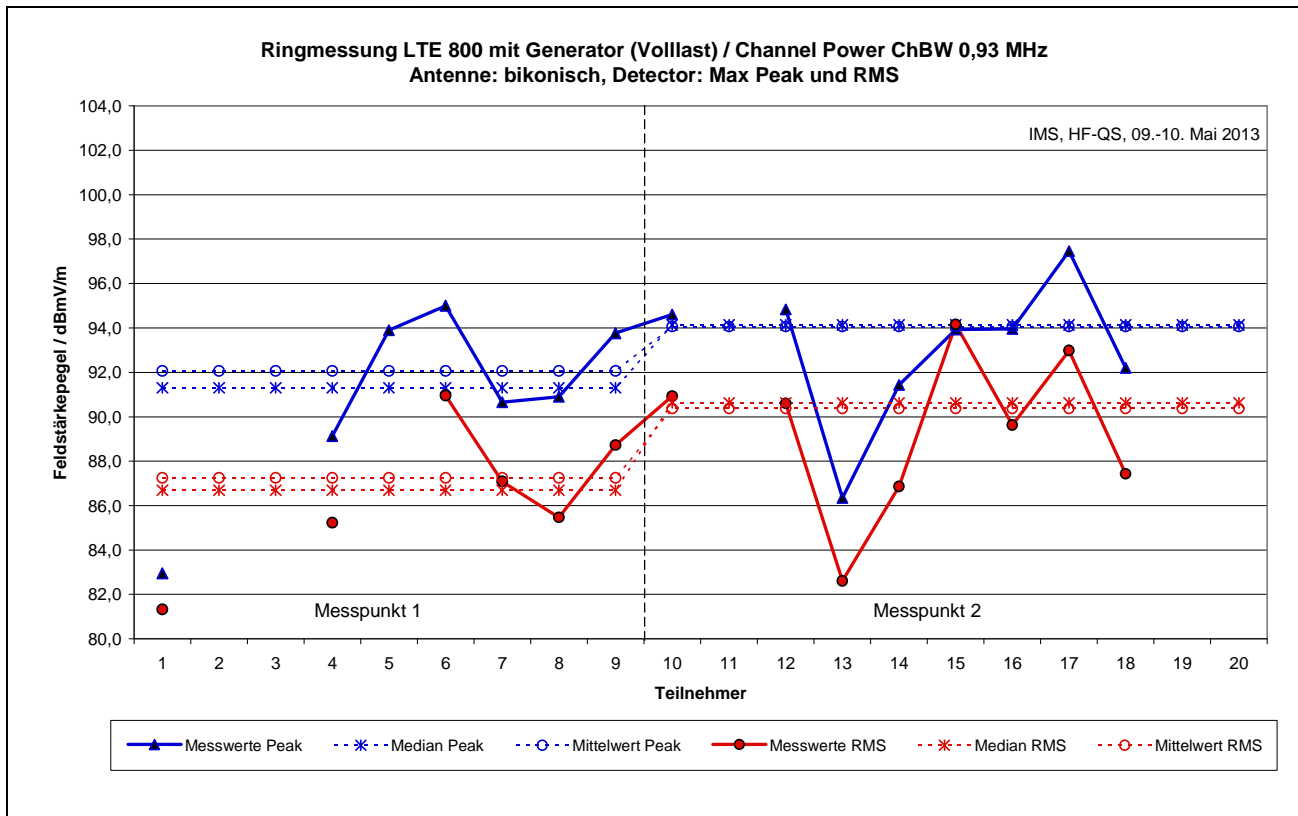
Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,1 dB auf 1,8 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer sind Mittelwert und Median der Gruppe identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +3,4 dB bzw. -2,6 dB, vom Median der Gruppe +3,3 bzw. -2,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 0,8 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 2,0 dB, die Mediane um 0,8 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern für beide Messmethoden gleich.

**Detector: RMS**

Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,0 dB auf 2,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe. Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,5 dB. Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +3,7 dB bzw. -2,0 dB, vom Median der Gruppe +4,3 bzw. -1,5 dB. Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 1,2 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB auf 2,5 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe. Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,2 dB. Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +3,8 dB bzw. -3,5 dB, vom Median der Gruppe +3,5 bzw. -3,8 dB. Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 0,3 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 3,2 dB, die Mediane um 3,9 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der obigen Graphik hervor.

### 11.3 LTE Generator mit Volllast: Vergleich der hochgerechneten Filter Sweep- (RBW 1 MHz / + 9,1 dB) mit den hochgerechneten Channel Power-Messungen (ChBW 0,93 MHz / + 9,4 dB)

Um die Ergebnisse der beiden Messverfahren miteinander vergleichen zu können, muss zunächst mit den bandbreitenspezifischen Faktoren jeweils auf maximale Auslastung hochgerechnet werden. Diese Hochrechnung ist in den folgenden vier Tabellen dargestellt.

Die Hochrechnungsfaktoren werden aus den folgenden Bandbreitenverhältnissen ermittelt:

Filter Sweep (RBW 1 MHz):  $\text{Signalbandbreite} / \text{RBW}$

Channel Power (ChBW 0,93 MHz):  $\text{Signalbandbreite} / \text{ChBW}$

Dabei wird bei der Filter- und der Channel-BW jeweils die Rauschbandbreite zugrunde gelegt, die in der Literatur häufig als  $1,1 \cdot \text{RBW}$  bzw.  $1,1 \cdot \text{ChBW}$  angegeben wird; dieser Faktor wird auch hier verwendet.

In anderen Literaturstellen werden auch RWB bzw. ChBW und Rauschbandbreite gleich gesetzt, der Faktor 1,1 entfällt dann.

In Dezibel ergeben sich mit dem Faktor 1,1 folgende Hochrechnungsfaktoren:

Filter Sweep (RBW 1 MHz):  $10 \log (9 \text{ MHz} / (1,1 \cdot 1 \text{ MHz})) \text{ dB} = 9,1 \text{ dB}$

Channel Power (ChBW 0,93 MHz):  $10 \log (9 \text{ MHz} / (1,1 \cdot 0,93 \text{ MHz})) \text{ dB} = 9,4 \text{ dB}$

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte und Mediane der Hochrechnungen zusammengestellt.

<u>Messpunkt 1</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	107,9	99,1	100,5	96,0
Median	108,0	99,4	100,2	95,9

<u>Messpunkt 2</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	108,3	101,1	103,5	99,8
Median	108,0	101,2	103,5	100,0

Hieraus ergeben sich folgende Differenzen in dB für die Hochrechnung Filter Sweep bezogen auf die Hochrechnung Channel Power:

#### Messpunkt 1

Mittelwert Peak:  $107,9 - 100,5 = 7,4$

Mittelwert RMS:  $99,1 - 96,0 = 3,1$

Median Peak:  $108,0 - 100,2 = 7,8$

Median RMS:  $99,4 - 95,9 = 3,5$

#### Messpunkt 2

Mittelwert Peak:  $108,3 - 103,5 = 4,8$

Mittelwert RMS:  $101,1 - 99,8 = 1,3$

Median Peak:  $108,0 - 103,5 = 4,5$

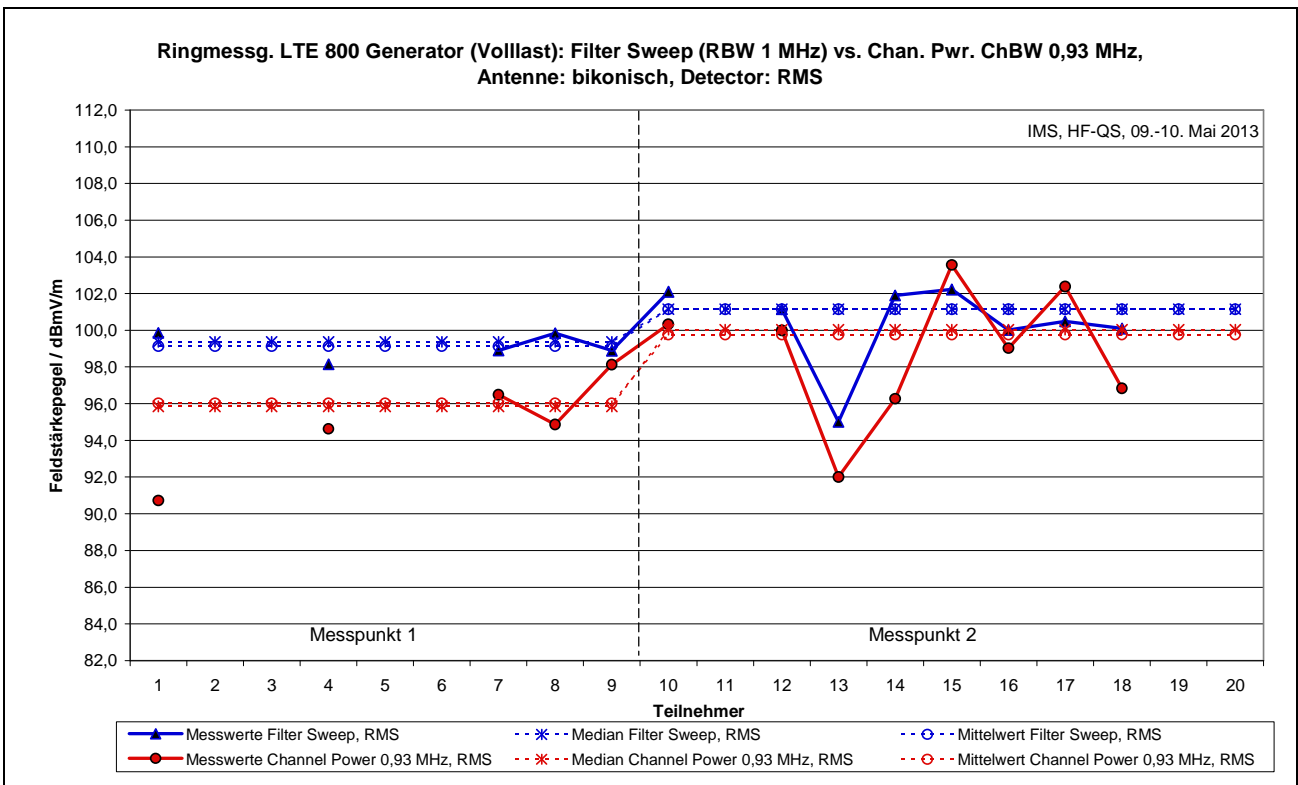
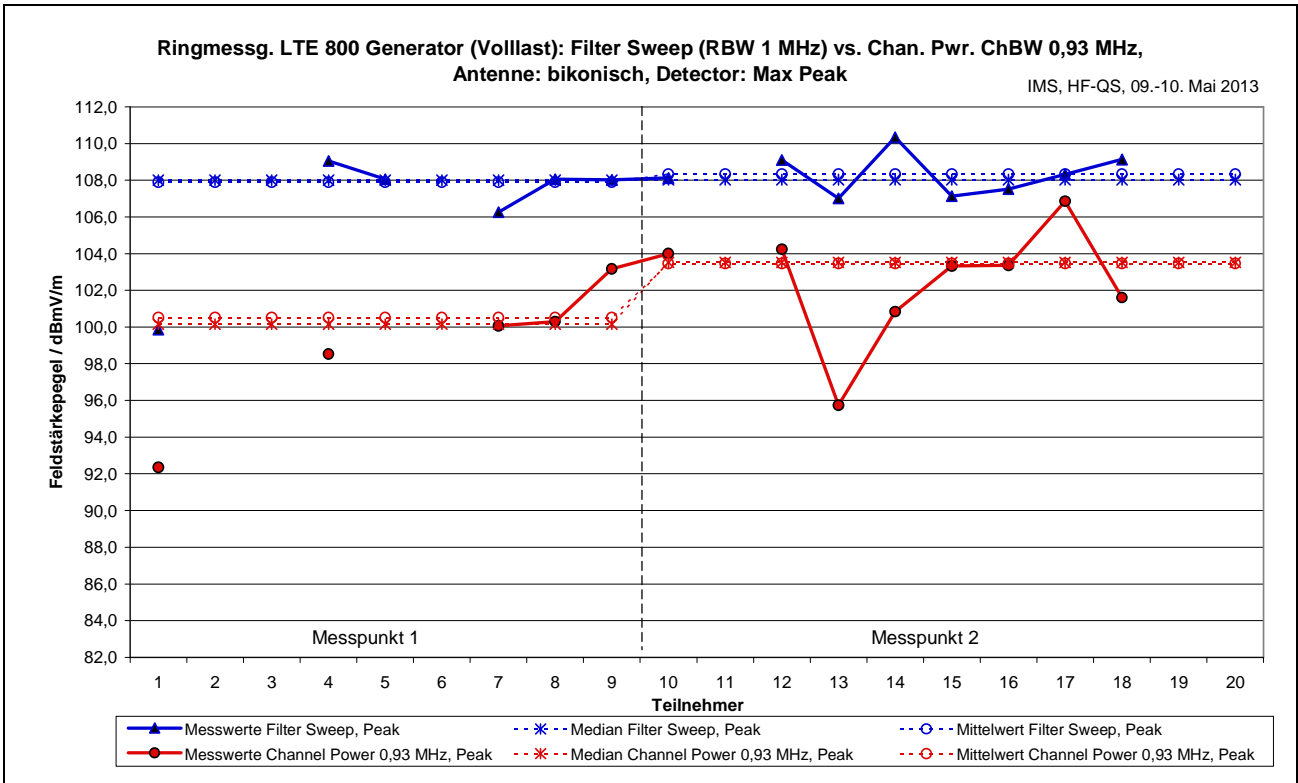
Median RMS:  $101,2 - 100,0 = 1,2$

Beim Vergleich der Messungen mit dem Peak-Detector liegen an beiden Messpunkten für Mittelwert und Median die Messergebnisse mit Filter Sweep (RBW 1 MHz) über denen mit Channel Power (Channel Bandwidth 0,93 MHz): An Messpunkt 1 um 7,4 bzw. 7,8 dB und an Messpunkt 2 um 4,8 bzw. 4,5 dB.

Der Vergleich der RMS-Messwerte zeigt im Prinzip gleiche Tendenzen, aber andere absolute Größen. Hier liegen an Messpunkt 1 die Filter Sweep-Werte um 3,1 bzw. 3,5 dB höher als die RMS-Werte und an Messpunkt 2 um 1,3 bzw. 1,2 dB.

Die Differenzen fallen somit beim Max Peak-Detector deutlich höher aus als beim RMS-Detector (vergleiche hierzu auch die Messergebnisse an der realen LTE-Basisstation (eNodeB) in Kapitel „10.4 LTE eNodeB: Vergleich der Filter Sweep- mit den Channel Power-Messungen 0,93 MHz“).

Eine Erklärung für die unterschiedlichen Effekte bei Peak- und RMS-Detektor kann zurzeit nicht gegeben werden.



## 11.4 LTE Generator mit Volllast, Channel Power 10 MHz (Gesamtes Signal)

### Detector: Max Peak

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,7 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +2,9 dB bzw. -2,1 dB, vom Median der Gruppe +3,6 bzw. -1,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,2 dB.

#### Messpunkt 2:

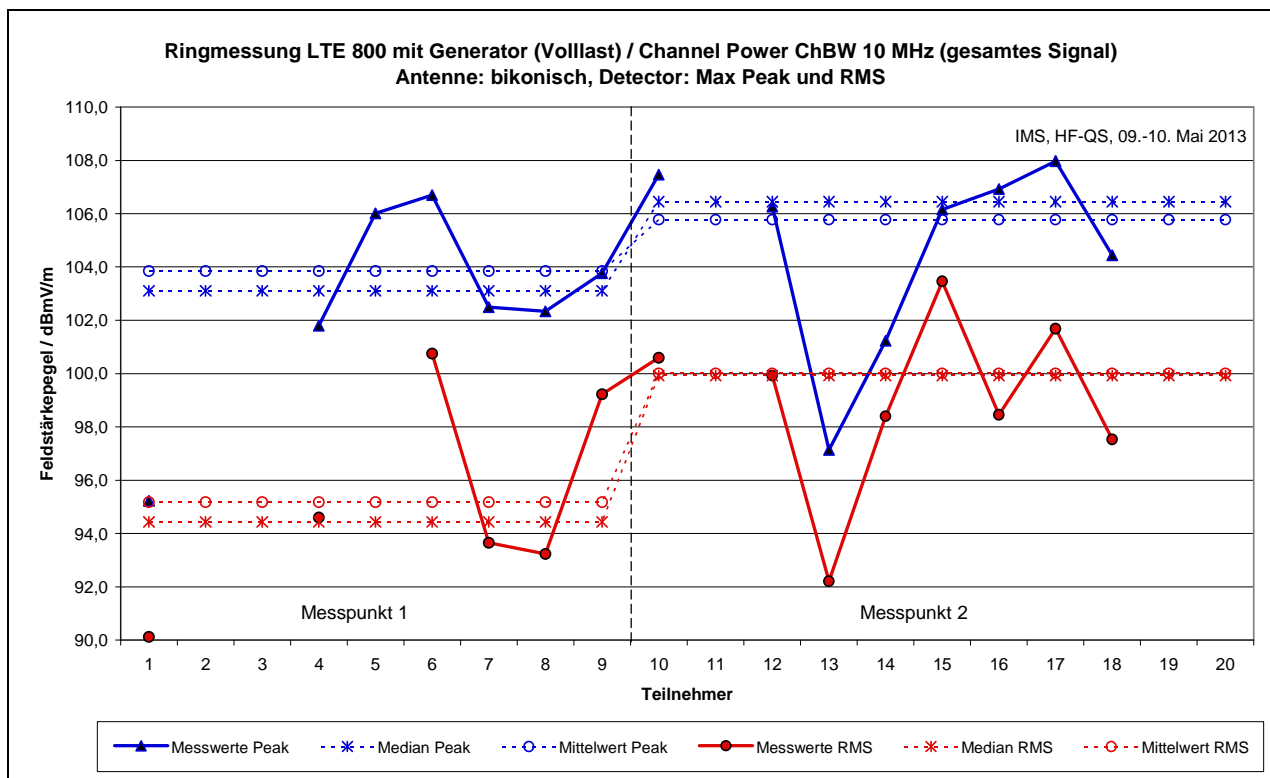
Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB auf 2,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,7 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +2,2 dB bzw. -4,5 dB, vom Median der Gruppe +1,5 bzw. -5,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 1,2 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 3,0 dB, die Mediane um 3,4 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern für beide Messmethoden gleich.

**Detector: RMS**

Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB auf 2,4 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,8 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +4,0 dB bzw. -1,9 dB, vom Median der Gruppe +4,8 bzw. -1,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 2,0 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,1 dB.

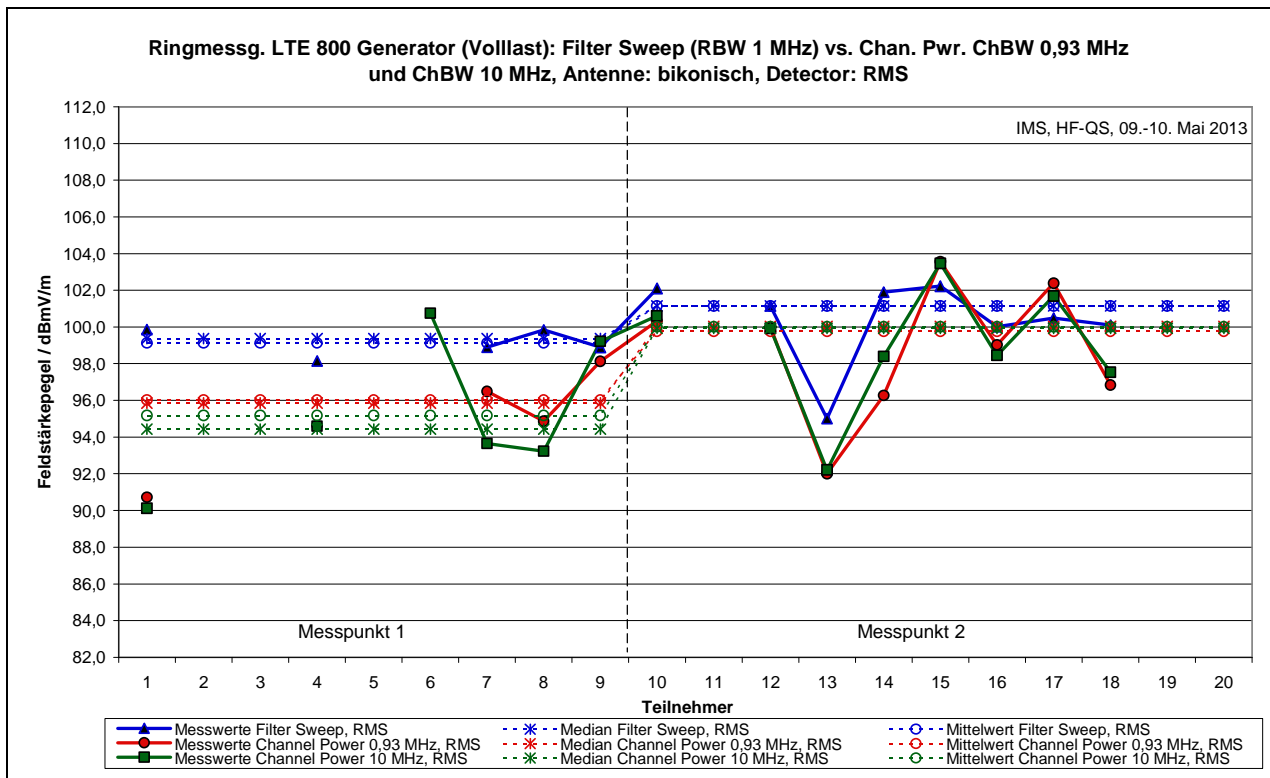
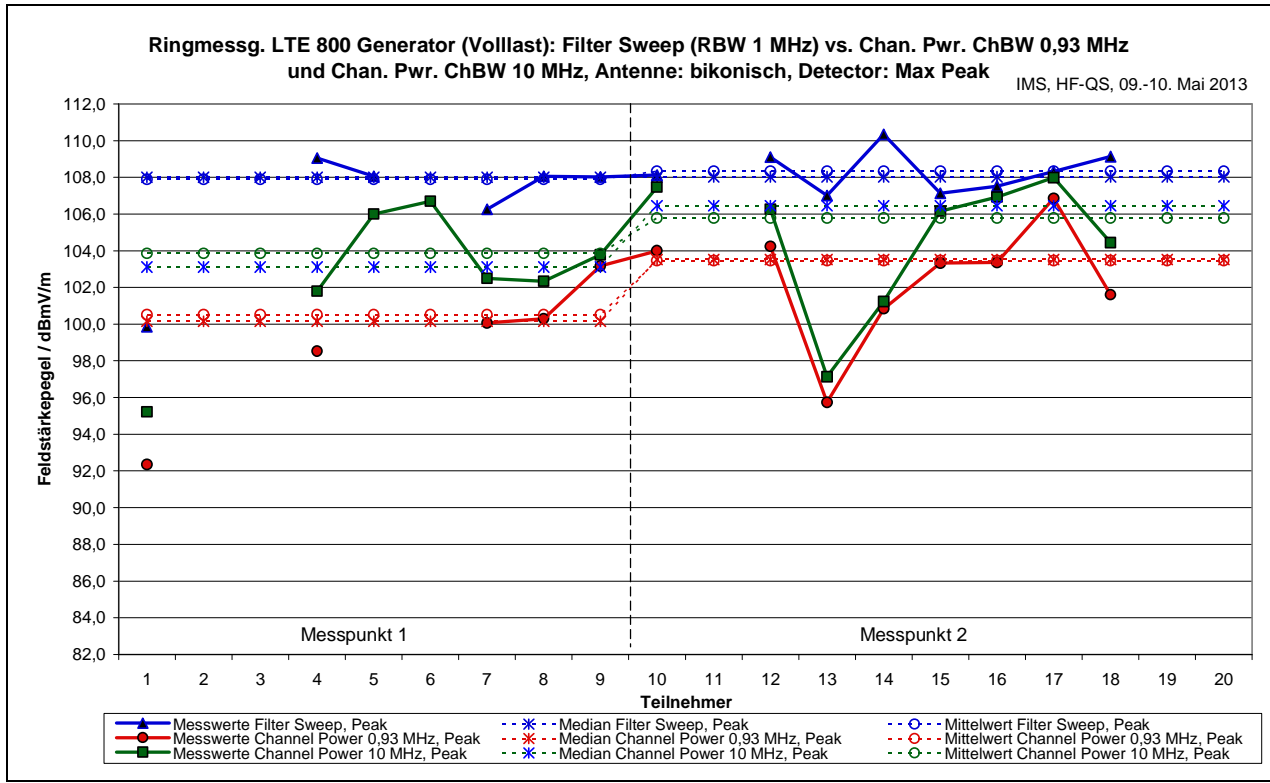
Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer beträgt +3,5 dB bzw. -2,5 dB, vom Median der Gruppe +3,5 bzw. -2,4 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 0,6 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 4,8 dB, die Mediane um 5,5 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der obigen Graphik hervor.



### 11.5 LTE-Generator mit Volllast: Vergleich der hochgerechneten Filter Sweep- (RBW 1 MHz + 9,1 dB) und Channel Power-Messungen (ChBW 0,93 MHz + 9,4 dB) mit den Channel Power-Messungen über die gesamte Signalbandbreite (ChBW 10 MHz)



Wie die Graphiken zeigen, stimmen die hochgerechneten Werte recht gut mit den Messwerten über die gesamte Signalbandbreite überein.

### 11.6 LTE-Generator mit Volllast: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe

Der am Signalgenerator eingestellte Crestfaktor betrug 11,1 dB. Aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

<u>Messpunkt 1</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	98,8	90,0	92,1	87,2
Median	98,9	90,3	91,3	86,7

<u>Messpunkt 2</u>	Filter Sweep RBW 1 MHz		Channel Power Channel Bandwidth 0,93 MHz	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	99,2	92,0	94,1	90,4
Median	98,9	92,1	94,2	90,6

Aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

#### Messpunkt 1

Mittelwert Filter Sweep:  $98,8 - 90,0 = 8,8$

Median Filter Sweep:  $98,9 - 90,3 = 8,6$

Mittelwert Channel Power:  $92,1 - 87,2 = 4,9$

Median Channel Power:  $91,3 - 86,7 = 4,6$

#### Messpunkt 2

Mittelwert Filter Sweep:  $99,2 - 92,0 = 7,2$

Median Filter Sweep:  $98,9 - 92,1 = 6,8$

Mittelwert Channel Power:  $94,1 - 90,4 = 3,7$

Median Channel Power:  $94,2 - 90,6 = 3,5$

Die Filter Sweep-Messungen an Messpunkt 1 zeigen für Mittelwert und Median der Gruppe Crestfaktoren, die mit ca. 8,5 bis 9 dB um etwa 2,5 bis 3 dB niedriger liegen als der Crestfaktor des Sendesignals. An Messpunkt 2 liegen diese mit ca. 7 dB sogar um 4,5 dB niedriger.

Die Channel Power-Messungen an Messpunkt 1 zeigen für Mittelwert und Median der Gruppe Crestfaktoren, die mit ca. 5 dB erheblich niedriger als bei der Filter Sweep-Messung ausfallen. An Messpunkt 2 tritt dieser Effekt noch deutlicher auf, so dass sich hier insgesamt Crestfaktoren von nurmehr 3,5 dB ergeben, die weit unter dem zu erwartenden Wert liegen.

### 11.7 LTE-Generator mit Volllast: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten

Zur Kontrolle wird hier der Crestfaktor aus den weniger stark verdichteten persönlichen Mittelwerten gebildet. Denn es ist prinzipiell möglich, dass bei der hohen Verdichtung der Daten bei der Bildung von Mittelwert und Median wesentliche Informationen „unscharf“ werden.

Hier ergeben sich aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte die folgenden Crestfaktoren.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Filter Sweep		Crestfaktor dB	Channel Power		
		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m			Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS		Peak	RMS	
1	FSH 6	90,8	90,8	0,0	95,2	90,1	5,1
2	FSH 3						
3	R 3131						
4	FSH 3	100,0	89,0	10,9	101,8	94,6	7,2
5	R 3131	98,9			106,0		
6	FSH 3				106,7	100,8	6,0
7	FSH 3	97,2	89,8	7,4	102,5	93,7	8,8
8	FSH 3	99,0	90,7	8,2	102,3	93,2	9,1
9	FSL 18	98,9	89,8	9,1	103,8	99,2	4,6
10	MT 8220 A	99,0	93,0	6,0	107,5	100,6	6,9
11	FSL 6						
12	MT 8220 A	100,0	92,1	8,0	106,3	99,9	6,3
13	FSH 3	97,9	85,9	12,0	97,1	92,2	4,9
14	FSH 3	101,2	92,8	8,4	101,2	98,4	2,8
15	MT 8220 A	98,0	93,1	4,9	106,2	103,5	2,7
16	FSU 8	98,4	90,9	7,5	106,9	98,5	8,5
17	FSL 18	99,2	91,4	7,8	108,0	101,7	6,3
18	FSH 8	100,0	91,0	9,0	104,4	97,5	6,9
19	SRM 3006						
20	FSH 8						

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

1,3
-----

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

8,9	MP 1
-----	------

Median der Gruppe (o. A.):

8,7
-----

1,7
-----

7,1
-----

7,2
-----

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

2,0
-----

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

8,0	MP 2
-----	------

Median der Gruppe (o. A.):

7,9
-----

2,0
-----

5,8
-----

6,3
-----

Die so ermittelten Crestfaktoren beim Filter Sweep decken sich für MP1 sehr gut mit den im vorigen Kapitel aus Mittelwert und Median der Gruppen ermittelten Faktoren, bei MP2 liegen sie etwa 1 dB höher. Die Crestfaktoren aus den persönlichen Mittelwerten beim Filter Sweep unterscheiden sich zwischen MP 1 und MP 2 mit 0,9 dB nicht wesentlich.

Bei den Channel Power-Messungen sind die aus den persönlichen Mittelwerten gebildeten Crestfaktoren an MP 2 um 1,3 dB niedriger als an MP 1. Hauptgrund sind die mit 2,8 dB und 2,7 dB sehr niedrigen persönlichen Crestfaktoren der Teilnehmer 14 und 15.

Beim Filter Sweep fallen die Crestfaktoren an beiden Messpunkten um ca. 1,5 bis 2 dB höher aus als bei den Channel Power Messungen.

Die aus den persönlichen Mittelwerten gebildeten Crestfaktoren liegen bei den Channel Power Messungen an MP 1 um ca. 2 dB und an MP 2 um ca. 2,5 bis 3 dB höher als die Crestfaktoren aus Mittelwert bzw. Median der Gruppen. Betrachtet man die Crestfaktoren der Teilnehmer 14

und 15 als unrealistische Ausreißer und nimmt sie aus der Auswertung heraus, so wird das Bild noch stimmiger und die aus den persönlichen Mittelwerten gebildeten Crestfaktoren unterscheiden sich an MP 1 und MP 2 nicht mehr nennenswert.

Diese Auswertung mahnt zur Vorsicht bei der Ermittlung von Crestfaktoren aus den hoch verdichteten Mittelwerten und Medianen der Gruppen und lässt die Berechnung aus den persönlichen Mittelwerten als realitätsgetreuer erscheinen.

Filter Sweep

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dBµV/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	FSH 6	90,8	90,8	0,0
2	FSH 3			
3	R 3131			
4	FSH 3	100,0	89,0	10,9
5	R 3131	98,9		
6	FSH 3			
7	FSH 3	97,2	89,8	7,4
8	FSH 3	99,0	90,7	8,2
9	FSL 18	98,9	89,8	9,1
10	MT 8220 A	99,0	93,0	6,0
11	FSL 6			
12	MT 8220 A	100,0	92,1	8,0
13	FSH 3	97,9	85,9	12,0
14	FSH 3	101,2	92,8	8,4
15	MT 8220 A	98,0	93,1	4,9
16	FSU 8	98,4	90,9	7,5
17	FSL 18	99,2	91,4	7,8
18	FSH 8	100,0	91,0	9,0
19	SRM 3006			
20	FSH 8			

Channel Power

Feldstärkepegel dBµV/m		Crestfaktor dB
Peak	RMS	
95,2	90,1	5,1
101,8	94,6	7,2
106,0		
106,7	100,8	6,0
102,5	93,7	8,8
102,3	93,2	9,1
103,8	99,2	4,6
107,5	100,6	6,9
106,3	99,9	6,3
97,1	92,2	4,9
101,2	98,4	2,8
106,2	103,5	2,7
106,9	98,5	8,5
108,0	101,7	6,3
104,4	97,5	6,9

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

1,3	MP 1
8,9	
8,7	

1,7
7,1
7,2

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

Median der Gruppe (o. A.):

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

2,0	MP 2
8,0	
7,9	

0,8
7,0
6,9

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

Median der Gruppe (o. A.):

## 12 Ringmessung DECT Schnurlostelefon

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die DECT-Ringmessung erfolgte am 10. Mai 2013 im Flur 1. OG vor dem großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen.

Die Messentfernung zur HF-Signalquelle (DECT-Basisstation im Standby) betrug 5 m.

Im seitlichen Abstand von 2 m waren nebeneinander zwei Messpunkte am Boden markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

Messantenne: USLP 9143 / UKLP 9140 / ESLP 9145, log.-per.

#### Filter Sweep

Start Frequency: 1.880 MHz  
Stop Frequency: 1.900 MHz  
Filterbandbreite RBW: 1 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz  
Detector: Max Peak und RMS  
Sweep Time: 1 s  
Trace: Max Hold

#### Zero Span

Center Frequency: Maximum der obigen Filter Sweep-Messung  
Filterbandbreite RBW: 1 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz  
Detector: Max Peak und RMS  
Sweep Time: 100 ms  
Trace: Max Hold

## **12.1 Messergebnisse DECT, Filter Sweep**

### **Filter Sweep, Detector Max Peak, Sweeptime 1 s**

#### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 1,4 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe sind identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,5 dB bzw. -1,8 dB, vom Median der Gruppe ebenso +1,5 bzw. -1,8 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,5 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Diese Messergebnisse weisen einen sehr hohen Grad an Übereinstimmung auf und sind ein hervorragendes Beispiel dafür, welche niedrige Messunsicherheit und hohe Reproduzierbarkeit mit der Spektrumanalyse möglich sind.

#### Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer sind Mittelwert und Median der Gruppe identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,5 dB bzw. -1,8 dB, vom Median der Gruppe ebenso +1,5 bzw. -1,8 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,5 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Ergebnisse der Gruppe 1 am Messpunkt 1 stimmen wesentlich besser miteinander überein als die Ergebnisse der Gruppe 2 am Messpunkt 2.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich lediglich um 0,1 dB, die Mediane ebenfalls um 0,1 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.

### **Filter Sweep, Detector RMS, Sweeptime 1 s**

#### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 1,1 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe sind identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,3 dB bzw. -1,6 dB, vom Median der Gruppe ebenso +1,3 bzw. -1,6 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,9 dB, die niedrigste 0,3 dB.

#### Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,0 dB auf 2,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

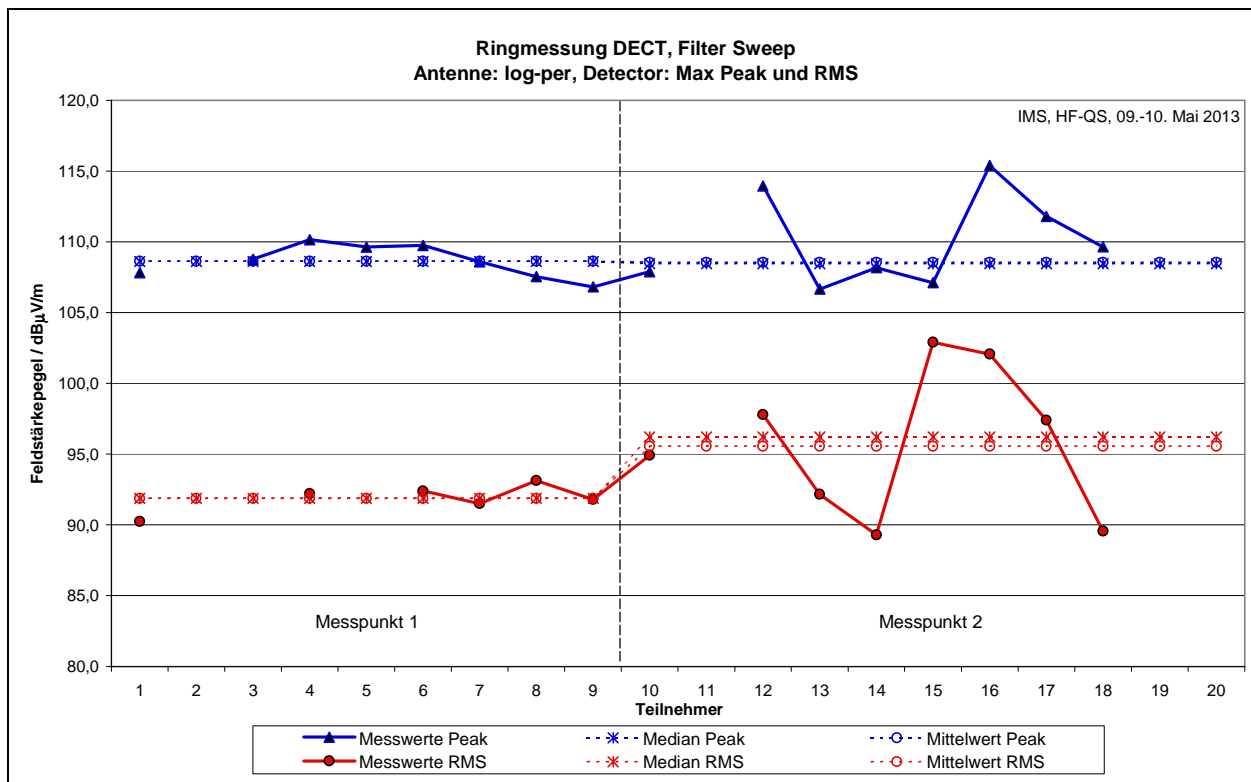
Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,2 dB bzw. -3,4 dB, vom Median der Gruppe +1,6 bzw. -4,1 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 2,4 dB, die niedrigste 0,3 dB.

Die Ergebnisse der Gruppe 1 am Messpunkt 1 stimmen wesentlich besser miteinander überein als die Ergebnisse der Gruppe 2 am Messpunkt 2.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich deutlich um 3,7 dB, die Mediane um 4,3 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der nachfolgenden Graphik hervor.



Die Impulsbreite eines DECT-Signals im Standby beträgt 0,09 ms, die Periodendauer 10 ms. Damit berechnet sich das Verhältnis Impulsdauer/Periodendauer zu  $0,09/10 = 0,009 = 0,9\%$ .

Dementsprechend wird beim RMS-Detector mit einer „Sweeptime pro Pixel“  $> 0,09$  ms der Messwert „heruntergemittelt“ (die gesamte Sweeptime beträgt dabei  $0,09$  ms x Anzahl Sweep Points; Sweep Points sind die für die Anzeige der Messkurve genutzten Pixel, ohne die Pixel für Softkeys usw.). Die Reduzierung um den Faktor 0,009 bei Mittelung über eine volle Periode entspricht 20,5 dB.

Bei z.B. 640 Sweep Points (FSL, FSH 4/8) und der Sweeptime von 1 s beträgt die Dauer pro Pixel 1,55 ms; die Reduzierung durch RMS-Mittelung über diese Dauer entspricht dem Faktor 0,058, entsprechend 12,4 dB.

Bei z.B. 320 Sweep Points (FSH 3/6) und der Sweeptime von 1 s beträgt die Dauer pro Pixel 3,1 ms; die Reduzierung durch RMS-Mittelung über diese Dauer entspricht dem Faktor 0,029, entsprechend 15,4 dB.

Somit ergibt sich alleine schon durch die unterschiedliche Anzahl Sweep Points bei den verschiedenen Typen von Spektrumanalysatoren prinzipbedingt eine größere Streubreite der Messergebnisse als bei der Verwendung des Peak-Detectors.

Die Differenz der Messwerte Peak/RMS beträgt für Gruppe 1

$$108,6 \text{ dB} - 91,9 \text{ dB} = 16,7 \text{ dB (Mittelwert) und}$$

$$108,6 \text{ dB} - 91,9 \text{ dB} = 16,7 \text{ dB (Median)}$$

und für Gruppe 2

$$108,5 \text{ dB} - 95,6 \text{ dB} = 12,9 \text{ dB (Mittelwert) und}$$

$$108,5 \text{ dB} - 96,2 \text{ dB} = 12,3 \text{ dB (Median).}$$



## 12.2 Messergebnisse DECT, Zero Span

### Zero Span, Detector Max Peak, Sweeptime 1 s

#### Messpunkt 1:

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,6 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,5 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,7 dB bzw. -2,8 dB, vom Median der Gruppe +1,2 bzw. -3,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,9 dB, die niedrigste 0,2 dB.

#### Messpunkt 2:

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 2,0 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe sind – im Rahmen einer Kommastelle – identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +3,0 dB bzw. -3,1 dB, vom Median der Gruppe +2,9 bzw. -3,1 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,9 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Ergebnisse der Gruppe 1 am Messpunkt 1 stimmen besser miteinander überein als die Ergebnisse der Gruppe 2 am Messpunkt 2.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 1,3 dB, die Mediane um 0,8 B. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.

### Zero Span, Detector RMS, Sweeptime 1 s

#### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 1,2 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,0 dB bzw. -1,6 dB, vom Median der Gruppe +0,6 bzw. -2,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,3 dB, die niedrigste 0,3 dB.

#### Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,0 dB auf 1,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer sind Mittelwert und Median der Gruppe identisch.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,4 dB bzw. -1,5 dB, vom Median der Gruppe ebenso +1,4 bzw. -1,5 dB.

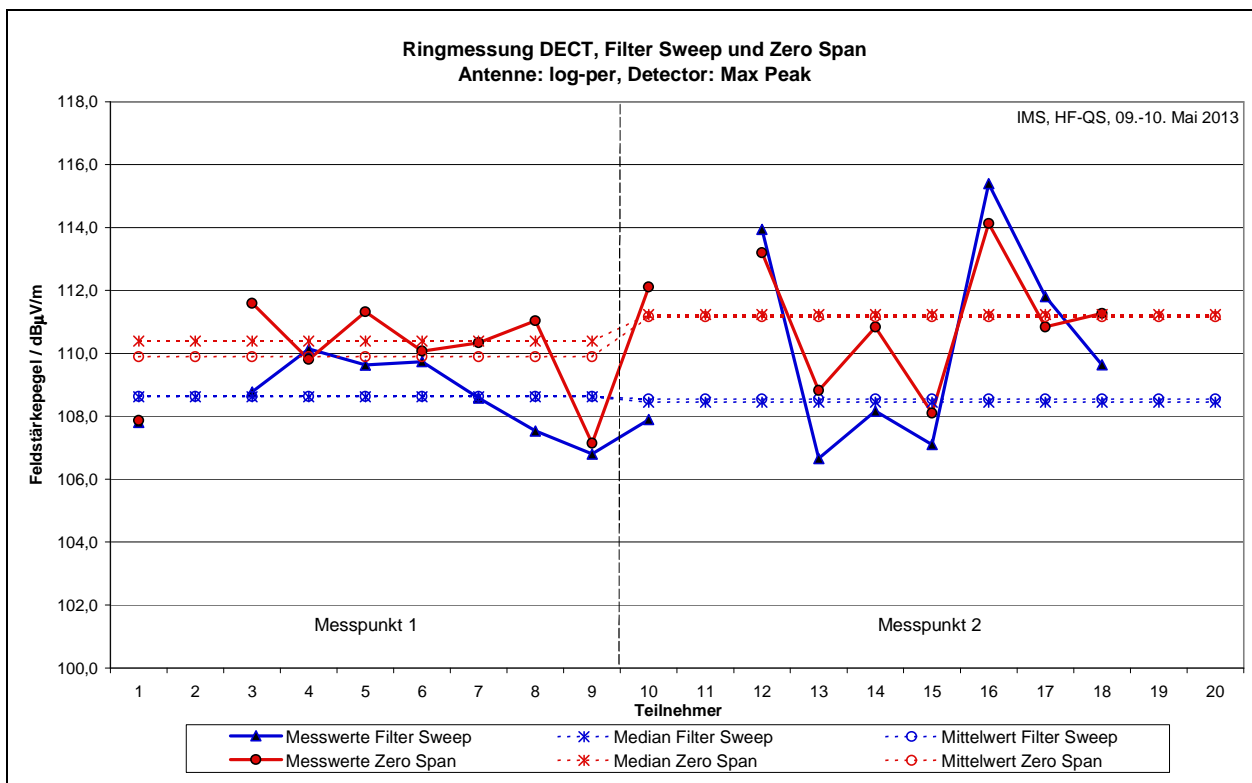
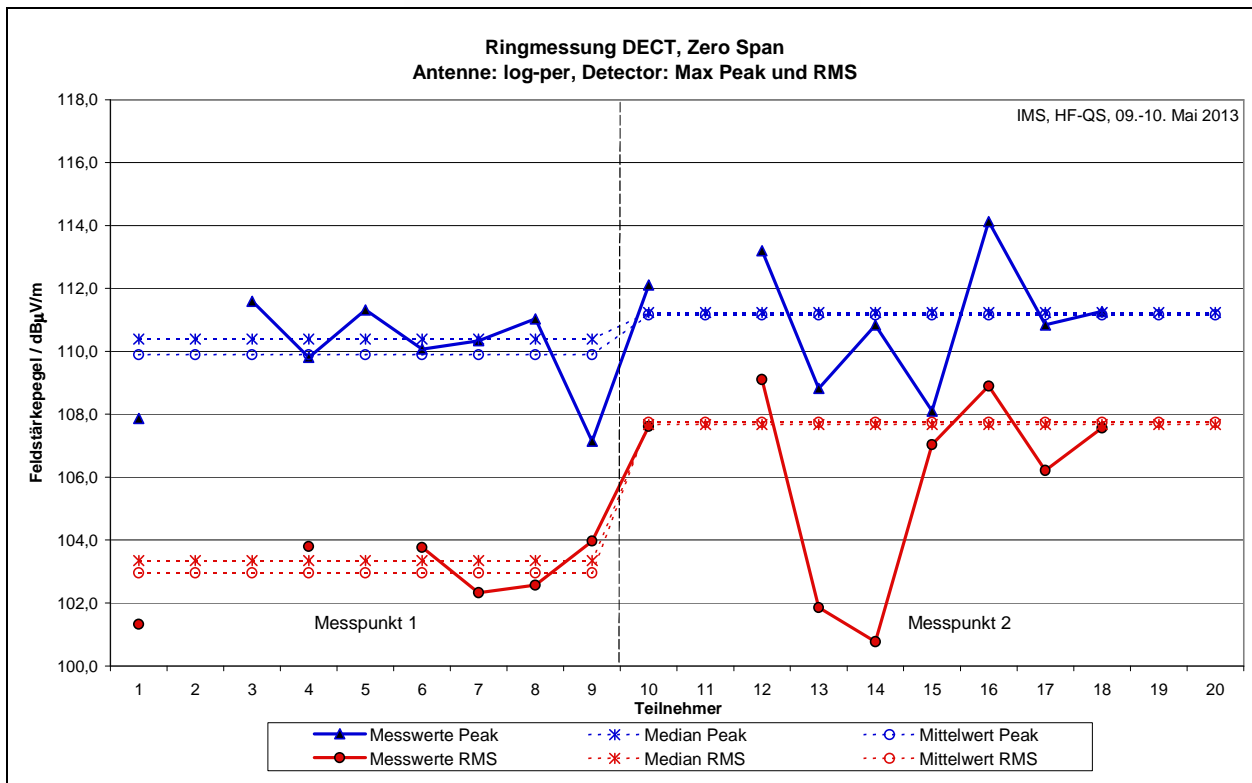
Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Die Ergebnisse der Gruppe 1 am Messpunkt 1 stimmen wesentlich besser miteinander überein als die Ergebnisse der Gruppe 2 am Messpunkt 2.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 4,7 dB, die Mediane um 4,4 dB.

Beim Max Peak-Detector liegen die Messergebnisse im Zero Span bei Gruppe 1 um 1,3 dB (Mittelwert) bzw. um 1,8 dB (Median) höher als bei der Filter Sweep-Messung, bei Gruppe 2 um 2,7 dB (Mittelwert und Median).

Diese Zusammenhänge gehen auch aus den folgenden Graphiken hervor.



Im Zero Span liegen die Messergebnisse signifikant über den Filter Sweep-Ergebnissen: An Messpunkt 1 um  $(109,9 - 108,6) \text{ dB} = 1,3 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $(110,4 - 108,6) \text{ dB} = 1,8 \text{ dB}$  (Median); an Messpunkt 2 um  $(111,2 - 108,5) \text{ dB} = 2,7 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $(111,2 - 108,5 \text{ dB}) = 2,7 \text{ dB}$  (Median).

## 13 Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die WLAN-Ringmessung im Standby erfolgte am 10. Mai 2013 im Treppenhaus des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem Linksys Wireless-G Access Point WAP54G-DE.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 6,0 m.

Im seitlichen Abstand von 2 m waren nebeneinander zwei Messpunkte am Boden markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

Der WLAN Access Point war auf g-Standard konfiguriert und sendete permanent das Bereitschaftssignal aus. Es wurde kein Datentransfer durchgeführt.

Messantenne: USLP 9143 / UKLP 9140 / ESLP 9145, log.-per.

### Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

Spektralbereich: 2.400 ... 2.500 MHz  
Ausgewertet wird aus dem Spektralbereich der maximale Pegel des Frequenzkanals 1 (Mittenfrequenz 2.412 MHz) mittels Markierung.

Filterbandbreite RBW: 1 MHz / 10 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz / 10 MHz  
Detector: Max Peak  
Sweep Time: 2 s  
Trace: Max Hold

### Messgeräteeinstellungen Zero Span

Center Frequency: 2.412 MHz (Kanal 1), Standby  
Span: Zero Span  
Filterbandbreite RBW: 1 MHz / 10 MHz / 20 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz / 10 MHz / 10 MHz  
Detector: Max Peak  
Sweep Time: 500 ms  
Trace: Max Hold

### 13.1 WLAN im Standby, Filter Sweep

#### RBW 1 MHz

##### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 0,9 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich lediglich um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +0,7 dB bzw. -1,2 dB, vom Median der Gruppe +0,7 bzw. -1,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,2 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Diese Messergebnisse weisen einen sehr hohen Grad an Übereinstimmung auf und sind ein gutes Beispiel dafür, welche niedrige Messunsicherheit und hohe Reproduzierbarkeit mit der Spektrumanalyse möglich sind.

##### Messpunkt 2:

An Messpunkt 2 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 1,2 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich lediglich um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,5 dB bzw. -1,9 dB, vom Median der Gruppe +1,3 bzw. -2,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,1 dB, die niedrigste 0,3 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 1,5 dB, die Mediane ebenfalls um 1,5 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.

#### RBW 10 MHz

##### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es nur einen Teilnehmer und keinen Ausreißer. Hier ist die Standardabweichung der Gruppe von 0,1 dB identisch mit der persönlichen Standardabweichung des Teilnehmers.

Mittelwert und Median der „Gruppe“ sind identisch.

Die Abweichung des persönlichen Mittelwertes vom Mittelwert und vom Median der „Gruppe“ ist logischerweise Null.

##### Messpunkt 2:

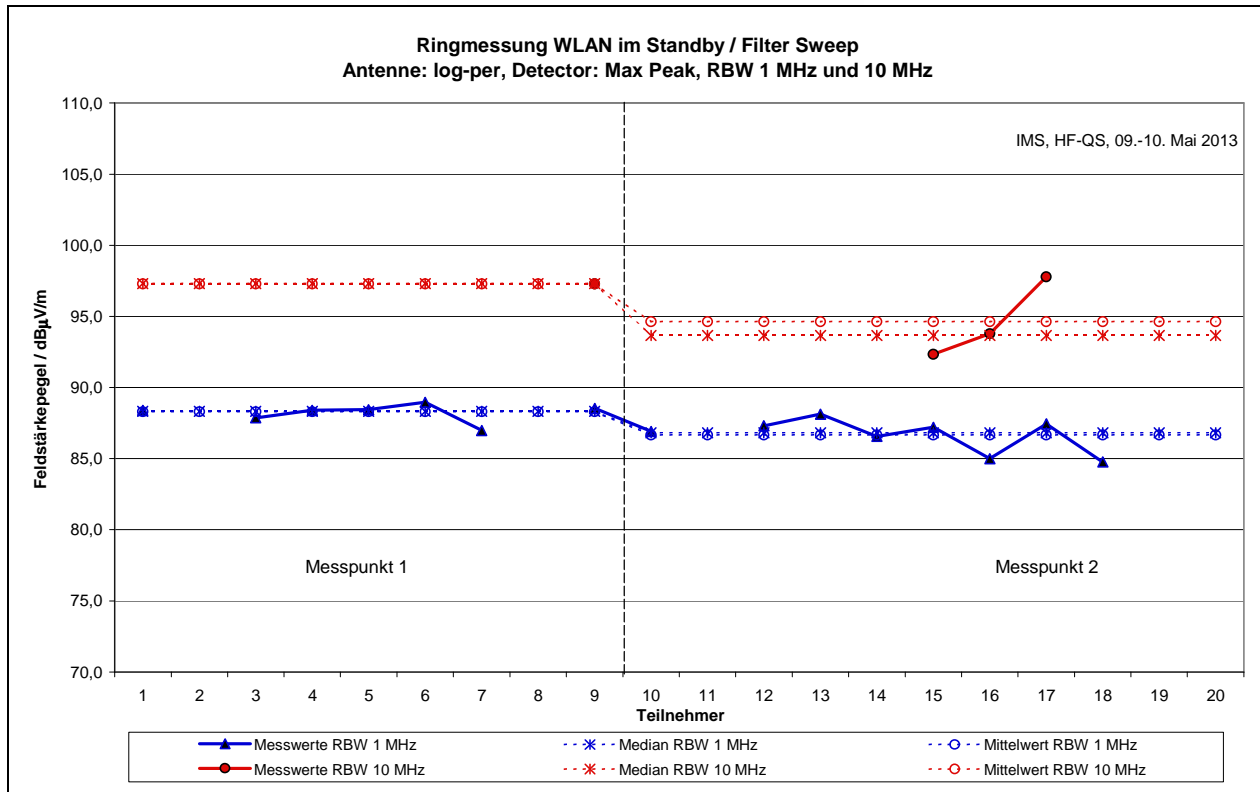
An Messpunkt 2 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der recht kleinen Gruppe 2,3 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,9 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +3,1 dB bzw. -2,3 dB, vom Median der Gruppe +4,1 bzw. -1,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,5 dB, die niedrigste 0,3 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 2,7 dB, die Mediane um 3,6 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



### Vergleich von RBW 1 MHz und 10 MHz

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse zusammengestellt.

	RBW 1 MHz		RBW 10 MHz	
	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2
Mittelwert	88,2	86,7	97,3	94,6
Median	88,3	86,8	97,3	93,7

Hieraus ergeben sich folgende Unterschiede aufgrund der Bandbreite in dB:

10 MHz re 1 MHz	MP 1	MP 2
Mittelwert	97,3 – 88,2 = 9,1	94,6 – 86,7 = 7,9
Median	97,3 – 88,3 = 9,0	93,7 – 86,8 = 6,9

Eine einfache Bandbreiten-Hochrechnung würde zu einer Differenz von 10 dB führen, ist in diesem Falle aber nicht realistisch, da das Standby-Signal nicht über seinen gesamten Spektralbereich konstant hoch ist – dies ist nur beim Datentransfer der Fall. Im Standby weist es dagegen die Form einer Glockenkurve auf.

Eine Differenz von 7 bis 8 dB erscheint daher durchaus praxisgerecht. Somit könnte man bei Analysatoren, die nicht über die hohe Bandbreite von 10 MHz verfügen, im Filter Sweep mit RBW 1 MHz messen und den Messwert mit einem Zuschlag von 7 bis 8 dB korrigieren.

Allerdings ist hierbei zu beachten, dass das WLAN-Standby-Signal noch breiter als 10 MHz ist.

## 13.2 WLAN im Standby, Zero Span

### RBW 1 MHz

#### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 1,5 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich lediglich um 0,2 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,6 dB bzw. -2,1 dB, vom Median der Gruppe +1,8 bzw. -2,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 2,3 dB, die niedrigste 0,1 dB.

#### Messpunkt 2:

An Messpunkt 2 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der Gruppe 2,5 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +3,6 dB bzw. -1,8 dB, vom Median der Gruppe +4,1 bzw. -1,3 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 4,4 dB, die niedrigste 0,3 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 1,1 dB, die Mediane um 1,3 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.

### RBW 10 MHz

#### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es nur einen Teilnehmer und keinen Ausreißer. Hier ist die relativ große Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB identisch mit der persönlichen Standardabweichung des Teilnehmers.

Mittelwert und Median der „Gruppe“ unterscheiden sich um 2,2 dB.

Die Abweichung des persönlichen Mittelwertes vom Mittelwert der „Gruppe“ ist logischerweise Null, vom Median beträgt sie 2,2 dB.

#### Messpunkt 2:

An Messpunkt 2 gibt es keine Ausreißer. Hier beträgt die Standardabweichung der recht kleinen Gruppe 1,1 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,2 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,3 dB bzw. -1,1 dB, vom Median der Gruppe +1,5 bzw. -1,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,5 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich um 4,7 dB, die Mediane um 2,7 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.

## RBW 20 MHz

### Messergebnisse mit Ausreißern

#### Messpunkt 1:

An Messpunkt 1 gibt es nur einen Teilnehmer und keinen Ausreißer. Hier ist die Standardabweichung der Gruppe von 1,0 dB identisch mit der persönlichen Standardabweichung des Teilnehmers.

Mittelwert und Median der „Gruppe“ unterscheiden sich um 0,7 dB.

Die Abweichung des persönlichen Mittelwertes vom Mittelwert der „Gruppe“ ist logischerweise Null, vom Median beträgt sie 0,7 dB.

#### Messpunkt 2:

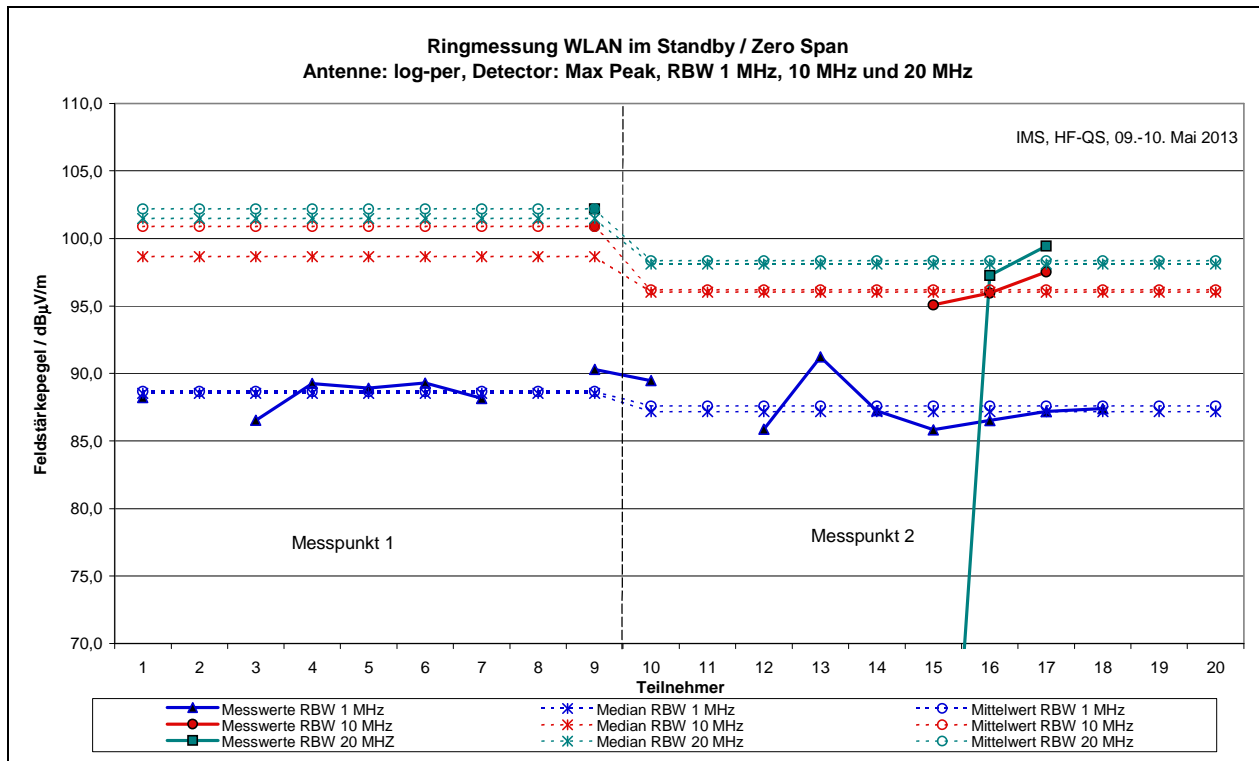
Ohne Ausreißer beträgt die Standardabweichung der sehr kleinen Gruppe 1,1 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,2 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +1,1 dB bzw. -1,1 dB, vom Median der Gruppe +1,3 bzw. -0,8 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,4 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 3,9 dB, die Mediane um 3,4 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.





## Vergleich von RBW 1 MHz, 10 MHz und 20 MHz

Die theoretische Differenz der Messergebnisse aus dem Unterschied zwischen Signalbandbreite (16,6 MHz) und Filterbandbreite (RBW 1 MHz) beträgt 12,2 dB.

Eigentlich müsste das Verhältnis von Signalbandbreite zu Rauschbandbreite des Filters gebildet werden. Setzt man die Rauschbandbreite mit  $(1,1 \cdot \text{RBW})$  an – wie dies häufig für Gaussfilter empfohlen wird –, so ergeben sich 11,8 dB.

Die obigen Betrachtungen gelten aber nur für ein Signal, dessen Spektrum über die ganze Signalbandbreite konstant ist, das sich also – zumindest annähernd – als Rechteck darstellt („Tafelberg“). Dies ist beim WLAN nur während des Datentransfers der Fall (Zugriffsverfahren OFDM), nicht aber im Standby. Im Standby wird ein periodisch gepulstes Signal mit ca. 10 Hz Pulsfrequenz und kurzer Impulsdauer ausgesendet; das korrespondierende Spektrum hat eine glockenförmige Hüllkurve. Die o.g. Faktoren dürfen im Standby also nicht angewendet werden, da dies zu einer Überbewertung führen würde.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse zusammengestellt.

	RBW 1 MHz		RBW 10 MHz		RBW 20 MHz	
	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2
Mittelwert	88,7	87,6	100,9	96,2	102,2	98,3
Median	88,5	87,2	98,7	96,0	101,5	98,1

Hieraus ergeben sich folgende Unterschiede aufgrund der Bandbreiten in dB:

10 MHz re 1 MHz	MP 1	MP 2
Mittelwert	$100,9 - 88,7 = 12,2$	$96,2 - 87,6 = 8,6$
Median	$98,7 - 88,5 = 10,2$	$96,0 - 87,2 = 8,8$

20 MHz re 1 MHz	MP 1	MP 2
Mittelwert	$102,2 - 88,7 = 13,5$	$98,3 - 87,6 = 10,7$
Median	$101,5 - 88,5 = 13,0$	$98,1 - 87,2 = 10,9$

20 MHz re 10 MHz	MP 1	MP 2
Mittelwert	$102,2 - 100,9 = 1,3$	$98,3 - 96,2 = 2,1$
Median	$101,5 - 98,7 = 2,8$	$98,1 - 96,0 = 2,1$

Zunächst ist festzuhalten, dass bei RBW 10 MHz und 20 MHz das „Kollektiv“ von Gruppe 1 nur aus einem einzigen Teilnehmer besteht. Dieser weist generell eine Tendenz zu höheren Messwerten auf. Bei der Bezugs-RBW 1 MHz „ziehen“ die übrigen Teilnehmer der Gruppe den Mittelwert und den Median nach unten, so dass hieraus die recht großen Unterschiede von 12,2 bzw. 10,2 dB (10 MHz re 1 MHz) resp. 13,5 bzw. 13,0 dB (20 MHz re 1 MHz) erklärlich sind. Um diesen Effekt zu vermeiden, müsste man die Differenzbetrachtung nicht für die Mittelwerte und Mediane anstellen, sondern für die individuellen Messwerte und dann Mittelwerte und Mediane der Differenzen bilden.

Für Gruppe 2 liegen die Differenzen deutlich niedriger und mit 8,6 bzw. 8,8 dB (10 MHz re 1 MHz) recht nahe an den 7 bis 8 dB beim Filter Sweep.

Legt man die volle Signalbandbreite des WLAN-Standby-Signals zugrunde, so wären die Differenzen 20 MHz re 1 MHz heranzuziehen. Diese liegen bei ca. 11 dB, die als Korrektur bei einer Zero-Span-Messung mit RBW 1 MHz heranzuziehen wäre.

Da Messungen über die Luftschnittstelle immer mit größerer Messunsicherheit verbunden sind, wäre es vorteilhaft, die obigen Zusammenhänge durch direkte Messungen am Antennenausgang eines WLAN Access Points zu validieren.

### 13.3 WLAN im Standby: Vergleich der Filter Sweep- mit den Zero Span-Messungen

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse Filter Sweep (RBW 1 MHz und 10 MHz) sowie Zero Span (RBW 1 MHz, 10 MHz und 20 MHz) zusammengestellt.

RBW	Filter Sweep				Zero Span					
	1 MHz		10 MHz		1 MHz		10 MHz		20 MHz	
Messpunkt	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2	MP 1	MP 2
Mittelwert	88,2	86,7	97,3	94,6	88,7	87,6	100,9	96,2	102,2	98,3
Median	88,3	86,8	97,3	93,7	88,5	87,2	98,7	96,0	101,5	98,1

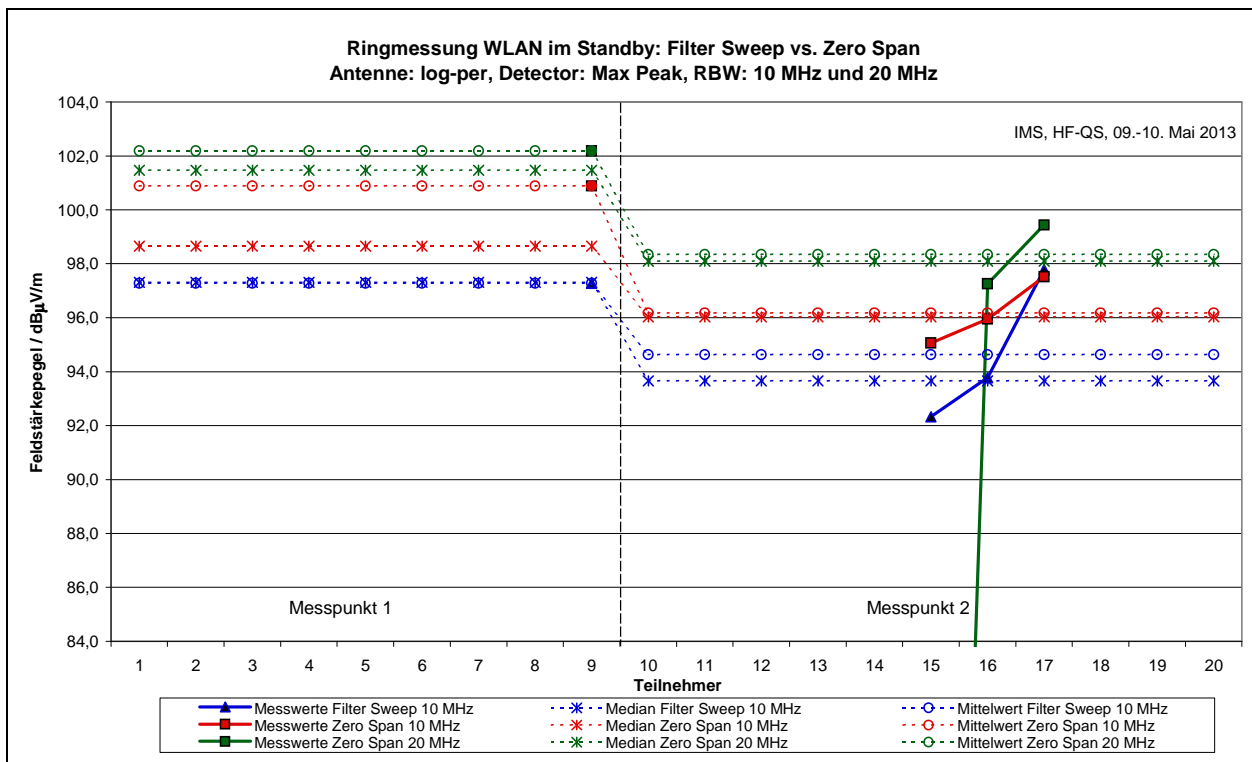
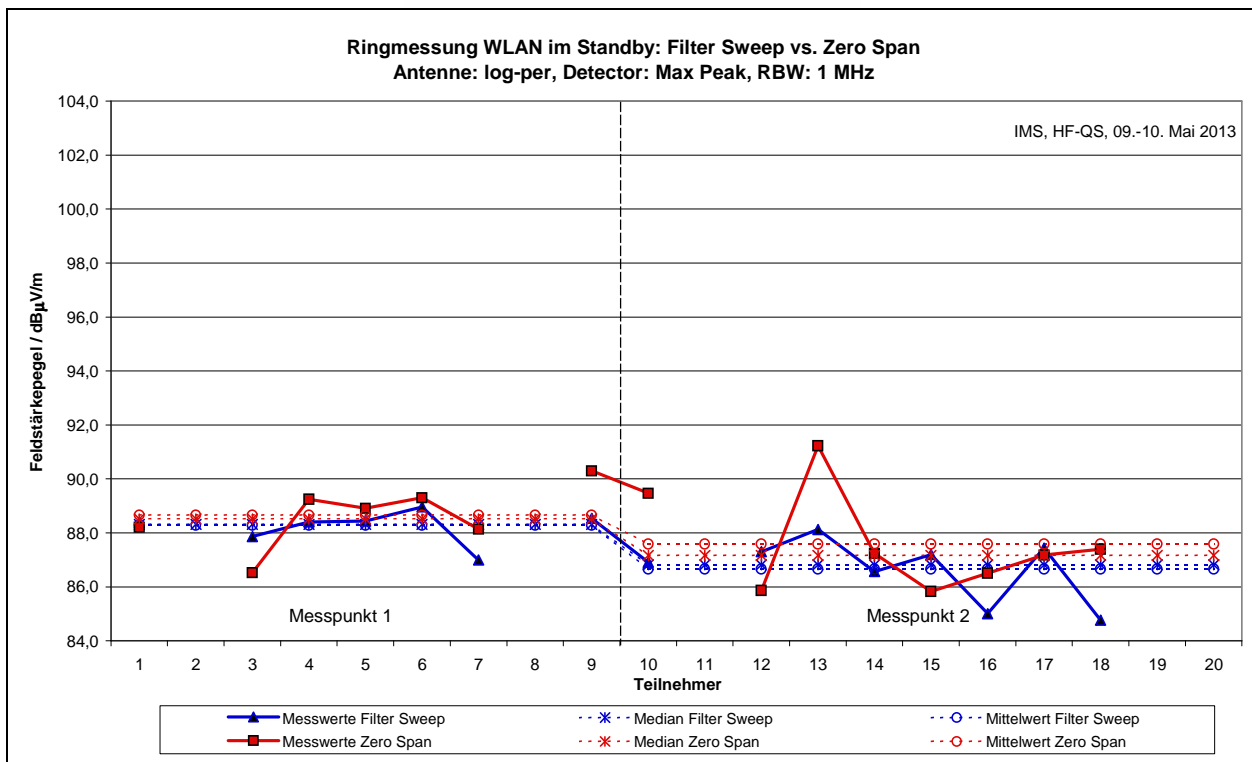
Hieraus ergeben sich folgende Unterschiede zwischen Zero Span- und Filter Sweep-Messungen für die Bandbreiten 1 MHz und 10 MHz:

RBW 1 MHz	MP 1	MP 2
Mittelwert	$88,7 - 88,2 = 0,5$	$87,6 - 86,7 = 0,9$
Median	$88,5 - 88,3 = 0,2$	$87,2 - 86,8 = 0,4$

RBW 10 MHz	MP 1	MP 2
Mittelwert	$100,9 - 97,3 = 3,6$	$96,2 - 94,6 = 1,6$
Median	$98,7 - 97,3 = 1,4$	$96,0 - 93,7 = 2,3$

Bei RBW 1 MHz liegen die Messwerte im Zero Span um 0,5 bis 0,9 dB (Mittelwert) resp. 0,2 bis 0,4 dB (Median) höher als mit Filter Sweep.

Bei RBW 10 MHz fällt der Unterschied mit 1,6 bis 3,6 dB (Mittelwert) resp. 1,4 bis 2,3 dB (Median) deutlich höher aus.



## 14 Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die WLAN-Ringmessung erfolgte am 10. Mai 2013 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem WLAN Access Point Air Live 802.11G WL-5480USB-80v2.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 4 m.

Im seitlichen Abstand von 2 m waren nebeneinander zwei Messpunkte am Boden markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

Der WLAN Access Point war auf g-Standard konfiguriert und sendete permanent einen Datenstrom aus.

Messantenne: USLP 9143 / UKLP 9140 / ESLP 9145, log.-per.

### Messgeräteeinstellungen Channel Power

Center Frequency:	2.437 MHz (Kanal 6)
Span:	22 MHz
Measure:	Channel Power
Channel Bandwidth:	20 MHz
Filterbandbreite RBW:	300 kHz
Videobandbreite VBW:	1 MHz
Detector:	Max Peak und RMS
Sweep Time:	100 ms (Max Peak) und 500 ms (RMS)
Trace:	Max Hold

## 14.1 WLAN mit Datentransfer, Channel Power-Messung

### Detector Max Peak

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 19,8 dB auf 1,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe. Die sehr hohe Standardabweichung liegt im Wesentlichen in dem Dokumentationsfehler bei einem einzelnen Messwert begründet (Teilnehmer 4, 14,21 statt 114,21 dB).

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,3 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +1,4 dB bzw. -1,5 dB, vom Median der Gruppe +1,1 bzw. -1,8 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,1 dB.

#### Messpunkt 2:

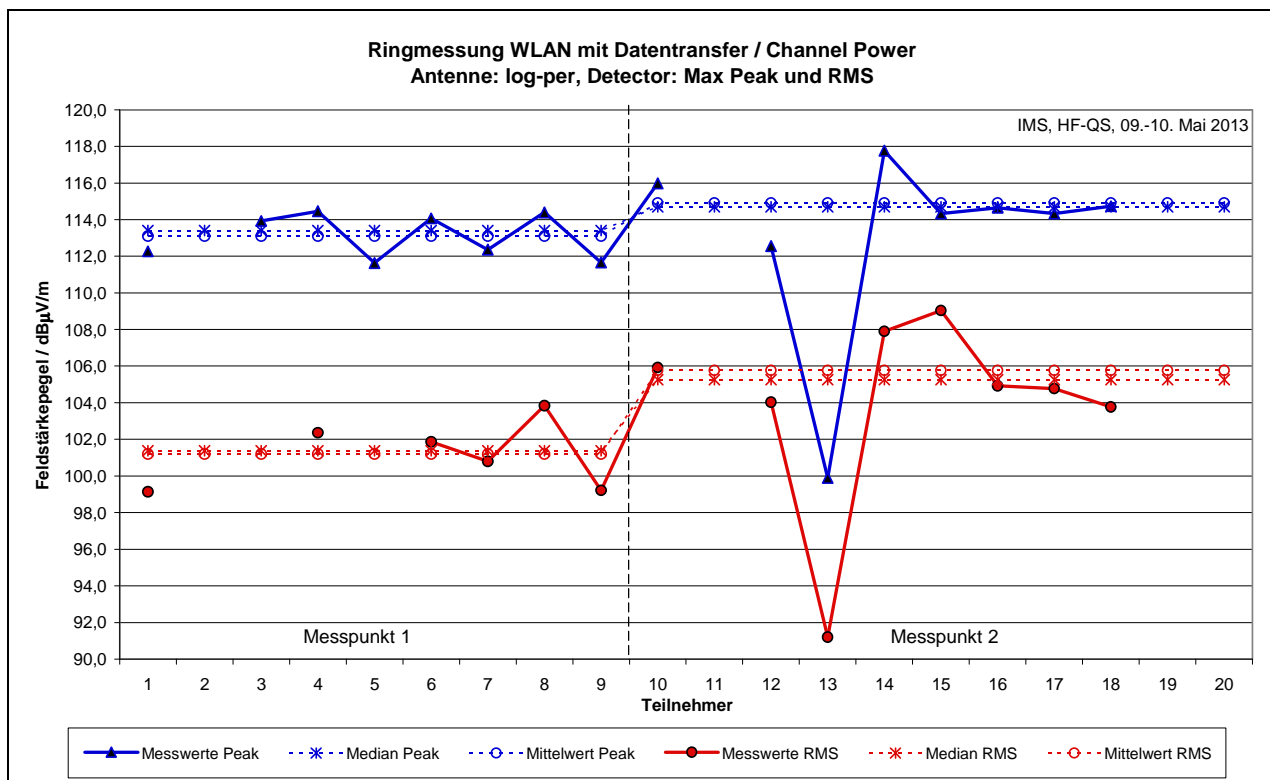
Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,2 dB auf 1,5 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,2 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +2,9 dB bzw. -2,3 dB, vom Median der Gruppe +3,1 bzw. -2,1 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,4 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 1,8 dB, die Mediane um 1,3 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei nahezu allen Teilnehmern auch bei Variation der Parameter gleich.

**Detector RMS**Messpunkt 1:

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,7 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden lediglich um 0,2 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +2,6 dB bzw. -2,1 dB, vom Median der Gruppe +2,5 bzw. -2,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,6 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,1 dB auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer um 0,5 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe +3,3 dB bzw. -2,0 dB, vom Median der Gruppe +3,8 bzw. -1,5 dB.

Ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,5 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 unterscheiden sich ohne Ausreißer um 4,6 dB, die Mediane um 3,9 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der obigen Graphik hervor.

**14.2 WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe**

Der Crestfaktor von WLAN Access Points beim Datentransfer liegt typischerweise bei 10 bis 12 dB.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse zusammengestellt.

	Messpunkt 1		Messpunkt 2	
	Peak	RMS	Peak	RMS
Mittelwert	113,1	101,2	114,9	105,8
Median	113,4	101,4	114,7	105,3

Aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

Messpunkt 1:

Mittelwert:  $113,1 - 101,2 = 11,9$

Median:  $113,4 - 101,4 = 12,0$

Messpunkt 2

Mittelwert:  $114,9 - 105,8 = 9,1$

Median:  $114,7 - 105,3 = 9,4$

An Messpunkt 1 wird sowohl für den Mittelwert als auch für den Median ein sehr realistischer Crestfaktor von 12 dB ermittelt.

An Messpunkt 2 liegen die gemessenen Crestfaktoren jedoch mit 2,5 bis 3 dB deutlich niedriger. Hieraus kann geschlossen werden, dass an MP 2 bei der Messung „over the air“ entweder der Peak-Wert unterbewertet oder der RMS-Wert überbewertet wird.

### 14.3 WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten

Zur Kontrolle wird hier der Crestfaktor aus den weniger stark verdichteten persönlichen Mittelwerten gebildet. Denn es ist prinzipiell möglich, dass bei der hohen Verdichtung der Daten bei der Bildung von Mittelwert und Median wesentliche Informationen „unscharf“ werden.

Hier ergeben sich aus dem Vergleich der Peak- und RMS-Messwerte die folgenden Crestfaktoren.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	FSH 6	112,3	99,1	13,1
2	FSH 3			
3	R 3131	113,9		
4	FSH 3	114,5	102,4	12,1
5	R 3131	111,6		
6	FSH 3	114,1	101,9	12,2
7	FSH 3	112,4	100,8	11,6
8	FSH 3	114,4	103,8	10,6
9	FSL 18	111,7	99,2	12,5
10	MT 8220 A	116,0	105,9	10,1
11	FSL 6			
12	MT 8220 A	112,6	104,0	8,5
13	FSH 3	99,9	91,2	8,7
14	FSH 3	117,8	107,9	9,9
15	MT 8220 A	114,3	109,0	5,3
16	FSU 8	114,7	104,9	9,7
17	FSL 18	114,3	104,8	9,6
18	FSH 8	114,7	103,8	11,0
19	SRM 3006			
20	FSH 8			

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

Median der Gruppe (o. A.):

0,8	MP 1
12,0	
12,2	

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

Median der Gruppe (o. A.):

1,7	MP 2
9,1	
9,7	

An MP 1 fällt der aus den persönlichen Mittelwerten gebildete Crestfaktor mit ca. 12 dB sehr realitätsnah aus. An MP 2 liegt er dagegen ca. 3 dB niedriger. Hierzu trägt neben insgesamt niedrigeren Faktoren nahezu des gesamten Feldes auch der sehr niedrige Faktor des Teilnehmers 15 bei.

Ansonsten decken sich die aus den persönlichen Mittelwerten gebildeten Crestfaktoren sehr gut mit den aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe berechneten Faktoren.



## 15 Ringmessung Wireless M-Bus mit Datentransfer

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung am Wireless M-Bus mit Datentransfer erfolgte am 10. Mai 2013 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem Wireless M-Bus Starter Kit iM871A.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 4,5 m.

Im seitlichen Abstand von 2 m waren nebeneinander zwei Messpunkte am Boden markiert; oberhalb dieser Messpunkte war die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen. Dementsprechend waren die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt und den Messpunkten fest zugewiesen.

Messantenne: USLP 9143 / UKLP 9140 / ESLP 9145, log.-per.

#### Filter Sweep

Start Frequency: 868 MHz  
Stop Frequency: 870 MHz  
Filterbandbreite RBW: 100 kHz und 300 kHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz  
Detector: Max Peak  
Sweep Time: 100 ms  
Trace: Max Hold

#### Zero Span

Center Frequency: 868,3 MHz  
Filterbandbreite RBW: 1 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz  
Detector: Max Peak  
Sweep Time: 500 ms  
Trace: Max Hold

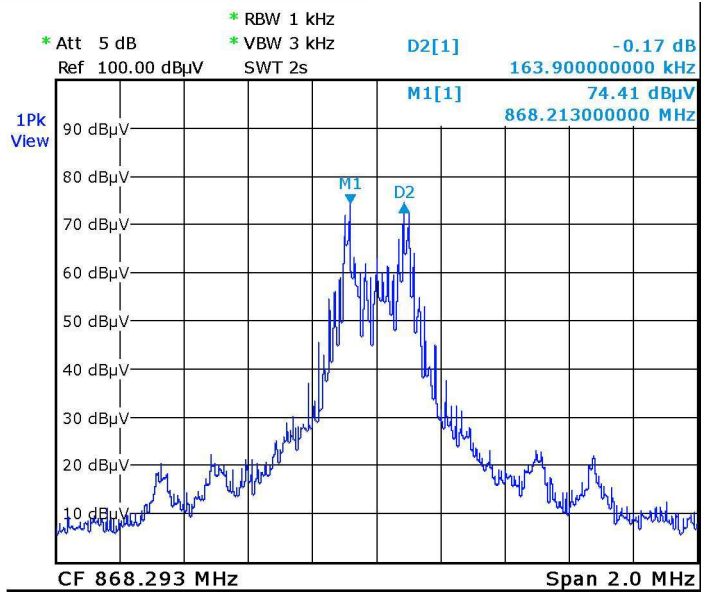
Der M-Bus (Meterbus) wurde speziell für die Verbrauchsdatenerfassung mittels Strom-, Gas-, Wasser- und Wärmezählern (Strom-, Gas-, Wasser- und Wärme-Metern) entwickelt.

Der Wireless M-Bus stellt die drahtlose Funk-Variante dar und basiert auf dem Modulationsverfahren FSK (Frequency Shift Keying, Frequenzumtastung).

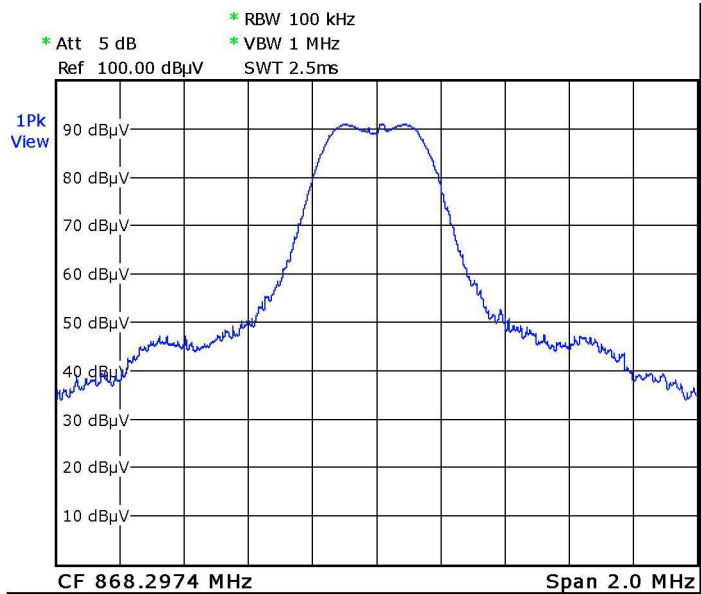
Die beiden Frequenzen, zwischen denen hin- und hergeschaltet wird, sind bei kleiner RBW im Spektrum deutlich zu erkennen. Die Frequenzdifferenz beträgt hier ca. 160 kHz. Bei größerer RBW fließen die Filterkurven entsprechend ineinander.

Beim FSK werden nie beide Frequenzen gleichzeitig gesendet, sondern im Rhythmus der digitalen Nutzdaten abwechselnd.

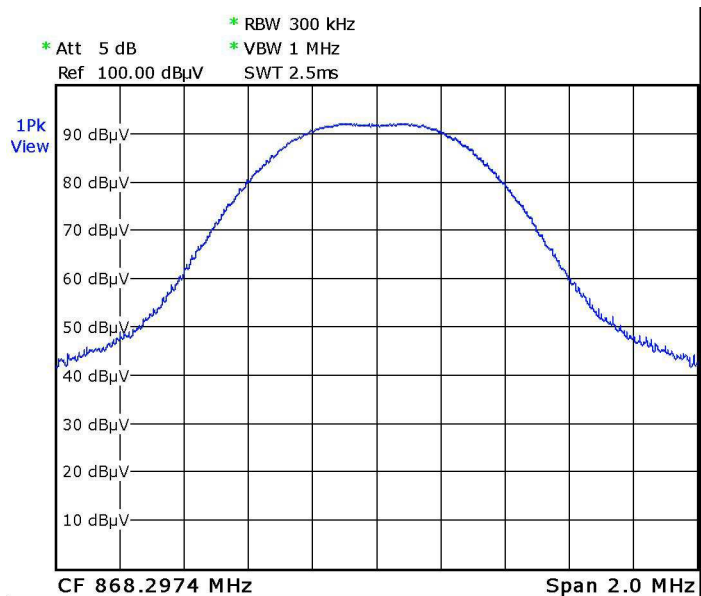
Signal Wireless M-Bus,  
FSK,  
RBW 1 kHz



Signal Wireless M-Bus,  
FSK,  
RBW 100 kHz



Signal Wireless M-Bus,  
FSK,  
RBW 300 kHz



## **15.1 Messergebnisse Wireless M-Bus mit Datentransfer, Filter Sweep**

### **Filter Sweep, RBW 100 kHz**

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,4 dB auf 2,1 dB.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,6 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +3,6 dB bzw. -1,8 dB, vom Median der Gruppe +4,2 bzw. -1,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,8 dB, die niedrigste 0,2 dB.

#### Messpunkt 2:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 2,2 dB.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,1 dB bzw. -3,2 dB, vom Median der Gruppe +1,5 bzw. -2,8 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,1 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 (ohne Ausreißer) unterscheiden sich um 2,9 dB, die Mediane um 3,1 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.

### **Filter Sweep, RBW 300 kHz**

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,3 dB auf 1,4 dB.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +2,2 dB bzw. -1,3 dB, vom Median der Gruppe +2,4 bzw. -1,0 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,7 dB, die niedrigste 0,4 dB.

#### Messpunkt 2:

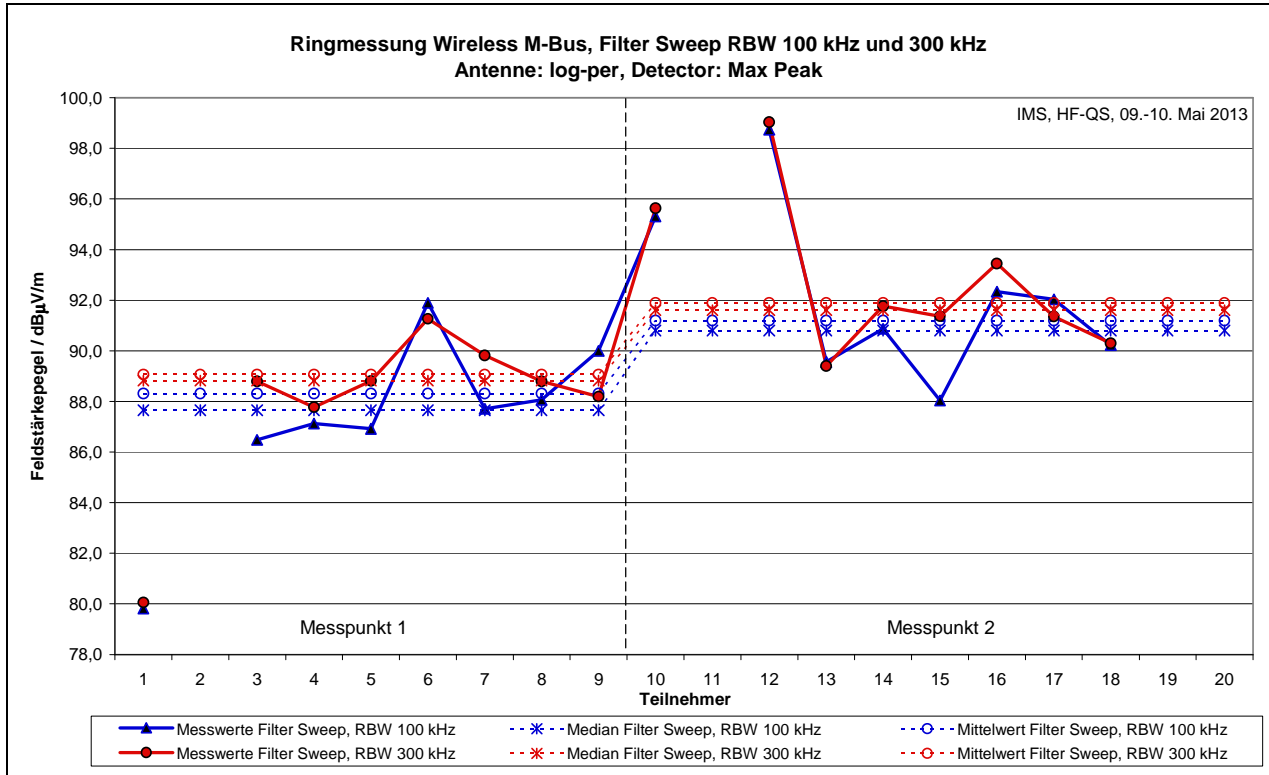
Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,0 dB auf 2,0 dB.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,6 dB bzw. -2,5 dB, vom Median der Gruppe +1,9 bzw. -2,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,6 dB, die niedrigste 0,2 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 (ohne Ausreißer) unterscheiden sich um 2,8 dB, die Mediane ebenfalls um 2,8 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.



Die Differenz der Messwerte zwischen RBW 100 kHz / 300 kHz beträgt für Gruppe 1

$88,3 \text{ dB} - 89,1 \text{ dB} = -0,8 \text{ dB}$  (Mittelwert) und

$87,7 \text{ dB} - 88,8 \text{ dB} = -1,1 \text{ dB}$  (Median)

und für Gruppe 2

$91,2 \text{ dB} - 91,9 \text{ dB} = -0,7 \text{ dB}$  (Mittelwert) und

$90,8 \text{ dB} - 91,6 \text{ dB} = -0,8 \text{ dB}$  (Median).

Sie liegt damit im Bereich von knapp einem Dezibel.

## 15.2 Messergebnisse Wireless M-Bus mit Datentransfer, Zero Span

### Zero Span, RBW 1 MHz

#### Messpunkt 1:

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,5 dB auf 1,5 dB.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,1 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,7 dB bzw. -1,6 dB, vom Median der Gruppe +1,6 bzw. -1,7 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,3 dB, die niedrigste 0,3 dB.

#### Messpunkt 2:

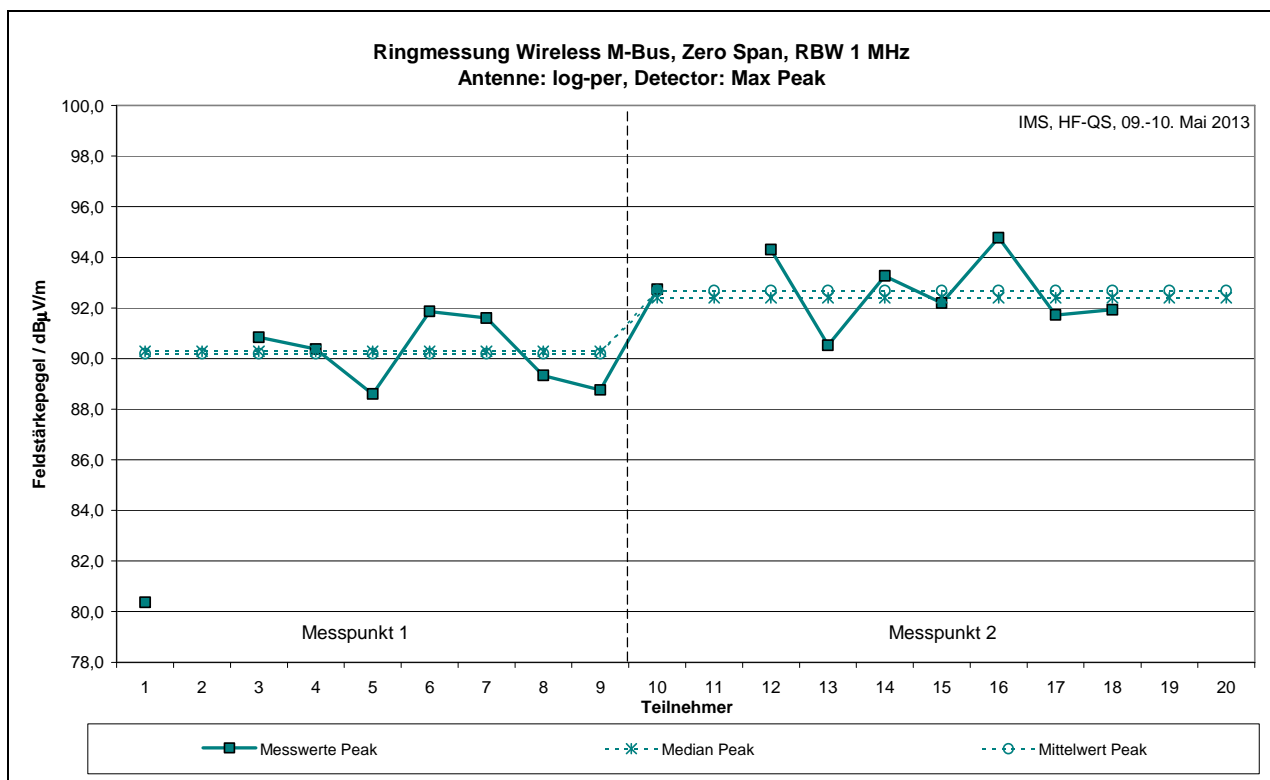
Am Messpunkt 2 gibt es keine Ausreißer. Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,4 dB.

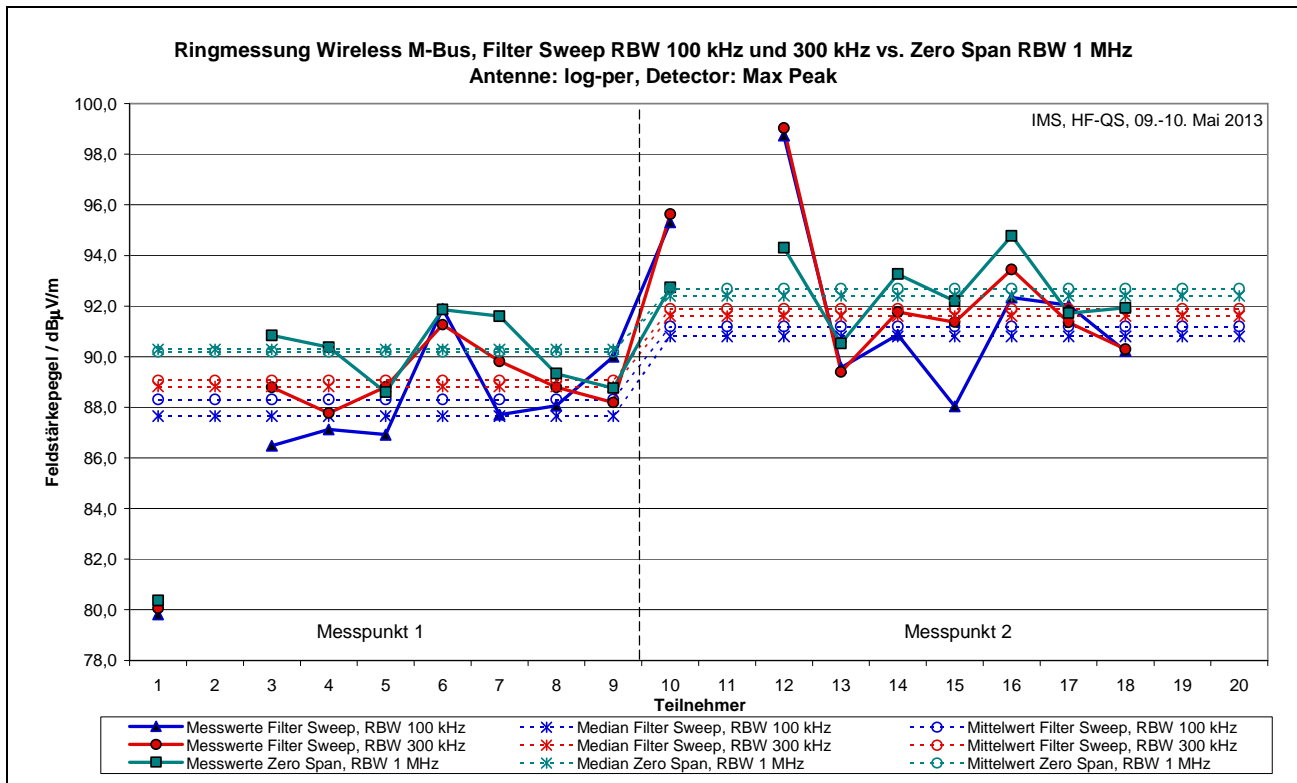
Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich um 0,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +2,1 dB bzw. -2,2 dB, vom Median der Gruppe +2,4 bzw. -1,9 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,7 dB, die niedrigste 0,1 dB.

Die Mittelwerte der Gruppen 1 (ohne Ausreißer) und 2 unterscheiden sich um 2,5 dB, die Mediane um 2,1 dB. Diese Zusammenhänge gehen auch aus der u.a. Graphik hervor.





Die Messwerte im Zero Span liegen etwas über den Messwerten beim Filter Sweep.

Die Differenz der Messwerte zwischen Filter Sweep RBW 300 kHz und Zero Span beträgt für Gruppe 1

$89,1 \text{ dB} - 90,2 \text{ dB} = -1,1 \text{ dB}$  (Mittelwert) sowie

$88,8 \text{ dB} - 90,3 \text{ dB} = -1,5 \text{ dB}$  (Median)

und für Gruppe 2

$91,9 \text{ dB} - 92,7 \text{ dB} = -0,8 \text{ dB}$  (Mittelwert) sowie

$91,6 \text{ dB} - 92,4 \text{ dB} = -0,8 \text{ dB}$  (Median).

Sie liegt damit im Bereich von etwa einem Dezibel.

Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei nahezu allen Teilnehmern auch bei Variation der Parameter gleich.

Mönchengladbach, 12. Mai 2014



Dr.-Ing. Martin H. Virnich