

Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops  
**Qualitätssicherung bei der HF-Spektrumanalyse**  
– Ringmessungen und Geräteüberprüfung –  
am 13. - 14. Mai 2015 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

Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V.  
Bundesgeschäftsstelle  
Sandberg 7  
21266 Jesteburg  
www.baubiologie.net

## 1 Inhaltsverzeichnis (Übersicht)

	Seite
1 Inhaltsverzeichnis (Übersicht)	1
2 Einleitung	4
3 Übersicht der verwendeten Messgeräte und Teilnehmer-Identifikation	5
4 Verwendete Testgeräte	8
5 Begriffsbestimmungen	9
6 Messgeräteüberprüfung	10
7 Ringmessung DVB-T	17
8 Ringmessung DECT Schnurlostelefon	25
9 Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)	31
10 Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)	35
11 Ringmessung Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth)	38
12 Ringmessung Unbekannter Funkdienst 2 (Funkmaus/-tastatur)	48
13 Ringmessung GSM-R	51
14 Ringmessung GSM 900 (EDGE)	53
15 Ringmessung LTE 800 mit Hochrechnung auf Vollast	56
16 Ringmessung LTE 1815 mit Hochrechnung auf Vollast	61
17 Ringmessung UMTS FDD	66

## Inhaltsverzeichnis (detailliert)

	Seite	
1	Inhaltsverzeichnis (Übersicht)	1
2	Einleitung	4
3	Übersicht der verwendeten Messgeräte und Teilnehmer-Identifikation	5
3.1	Spektrumanalysatoren	5
3.2	Antennenkabel	6
3.3	Messantennen	7
3.4	Auskoppeladapter Bajog ASK-06	7
4	Verwendete Testgeräte	8
5	Begriffsbestimmungen	9
6	Messgeräteüberprüfung	10
6.1	Überprüfung der Spektrumanalysatoren	10
6.2	Überprüfung der Antennenkabel	12
6.3	Überprüfung des Frequenzgangs der Messantennen	13
6.3.1	Überprüfung der Auskoppeladapter Bajog ASK-06	15
7	Ringmessung DVB-T	17
7.1	Messergebnisse DVB-T, Filter Sweep	18
7.2	Messergebnisse DVB-T, Channel Power	20
7.3	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	22
7.4	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	22
7.5	Vergleich von Filter Sweep (RBW 300 kHz) und Channel Power-Messung	23
8	Ringmessung DECT Schnurlostelefon	25
8.1	Messergebnisse DECT, Filter Sweep	26
8.2	Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und unterschiedlicher RBW	30
8.3	Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und RMS, RBW 1 MHz	30
9	Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)	31
9.1	WLAN im Standby, Filter Sweep	32
9.2	WLAN im Standby, Zero Span	34
10	Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)	35
10.1	Messergebnisse WLAN mit Datentransfer, Channel Power	36
10.2	WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	37
10.3	WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	37
11	Ringmessung Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth)	38
11.1	Messergebnisse Unbekannter Funkdienst 1	42
11.1.1	Messaufgaben 1 bis 5	42
11.1.2	Pegelmessung „Absolutes Maximum“	43

11.1.3	Pegelmessung „Channel Power“	44
11.1.4	Pegelmessung „Linearer Mittelwert“	45
12	Ringmessung Unbekannter Funkdienst 2 (Funkmaus/-tastatur)	48
12.1	Messergebnisse Unbekannter Funkdienst 2	50
12.1.1	Messaufgaben 1 bis 5	50
13	Ringmessung GSM-R	51
13.1	Messergebnisse GSM-R	52
14	Ringmessung GSM 900 (EDGE)	53
14.1	Messergebnisse Organisationskanal 932,0 MHz (EDGE)	54
14.2	Identifikation der Organisationskanäle GSM 900 und Reihenfolge der drei stärksten	54
15	Ringmessung LTE 800 mit Hochrechnung auf Volllast	56
15.1	Messergebnisse LTE 800, Filter Sweep	57
15.2	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	58
15.3	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	58
15.4	Hochrechnung auf Volllast LTE 800, Filter Sweep	59
16	Ringmessung LTE 1815 mit Hochrechnung auf Volllast	61
16.1	Messergebnisse LTE 1815, Filter Sweep, RBW 1 MHz	62
16.2	Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	63
16.3	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	63
16.4	Hochrechnung auf Volllast LTE 1815, Filter Sweep	64
17	Ringmessung UMTS FDD	66
17.1	Messergebnisse UMTS Filter Sweep, RBW 1 MHz	67
17.2	Messergebnisse UMTS Channel Power	68
17.3	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	69
17.4	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	69
17.5	UMTS Codeselektive Messung CPICH	71
17.6	Vergleich von Filter Sweep (RBW 1 MHz) und Channel Power-Messung	73

## 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. 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.

Die hier vorliegende „Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops Qualitätssicherung bei der HF-Spektrumanalyse – Ringmessungen und Geräteüberprüfung – am 13. - 14. Mai 2015 in Iphofen“ stellt einen Auszug aus dem Original-Protokoll dar. Das Original-Protokoll umfasst 105 Seiten und enthält sämtliche Messwerttabellen.

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

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

#### 3.1 Spektrumanalysatoren

Teiln. ID	Spektrumanalysator			
	Hersteller	Typ	SN	RMS-Detector
1	Advantest	R 3131	110500909	-
2	Advantest	R 3131	81781551	-
3	Advantest	R 3131	1105008710	-
4	Rohde & Schwarz	FSH 3	100249 <sup>2)</sup>	X
5	Rohde & Schwarz	FSH 3	101268	X
6	Rohde & Schwarz	FSH 3	100182	X
7	Rohde & Schwarz	FSH 3	101570	X
8	Rohde & Schwarz	FSH 3	100551	X
8B	Anritsu	MS 2651B <sup>1)</sup>	MT42988	-
9	Rohde & Schwarz	FSH 6	100013	X
10	Rohde & Schwarz	FSH 6	101617	X
11	Anritsu	MT 8220 A	512084	X
12	Anritsu	MT 8220 A	551026	X
13	Rohde & Schwarz	FSP 13	100388	X
14	Rohde & Schwarz	FSL 18	101130	X
15	Rohde & Schwarz	FSL 18	100260	X
16	Rohde & Schwarz	FSL 6	100423	X
16B	Advantest	R 3132 <sup>1)</sup>	101003435	-
17	Rohde & Schwarz	FSL 6	100399	X

SN = Seriennummer

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

<sup>2)</sup> Gerät ist defekt, Teilnehmer 4 hat für die Ringmessungen den Analysator von Teilnehmer 8 benutzt.

### 3.2 Antennenkabel

Teiln. ID	Antennenkabel			
	Hersteller	Typ	Länge [m]	SN
1	Schwarzbeck	AK 9513	5	-
	Schwarzbeck	AK 9513	10	2
	Schwarzbeck	AK 9515 E	5	96022
2	Schwarzbeck	AK 9513	5	-
3	Schwarzbeck	AK 9513	2	9513#4
4	Schwarzbeck	AK 9513	3	95183
	Schwarzbeck	AK 9513	10	-
5	Schwarzbeck	AK 9513	5	INV 35
6	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	1,5	140107091
	Schwarzbeck	AK 9513	3	-
7	Schwarzbeck	AK 9513	5	1
	Schwarzbeck	AK 9513	5	2
8	Schwarzbeck	AK 9513 (alt)	5	95175
	Schwarzbeck	AK 9513 (neu)	5	96256
	Micro-Coax	Utiflex UFB311A	2	3706-0056
9	Schwarzbeck	AK 9515 E	3	
10	Micro-Coax	Utiflex UFB311A	2	37060024
11	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	1	1
	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	1	2
	Schwarzbeck	AK 9513	3	-
12	Schwarzbeck	AK 9513	3	-
13	Schwarzbeck	AK 9513	3	-
	Schwarzbeck	AK 9513	2	-
14	Schwarzbeck	AK 9513	3	2
	Schwarzbeck	AK 9513	3	1
	Schwarzbeck	AK 9513	5	1
	Schwarzbeck	AK 9515 E	3	-
	Micro-Coax	Utiflex UFB311A	2	-
15	Schwarzbeck	AK 9515 E	3	95911
	Schwarzbeck	AK 9515 H	3	95683
16	Schwarzbeck	AK 9513	3	-
	Schwarzbeck	AK 9513	3	95588
	Schwarzbeck	AK 9513	5	-
17	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	5	-

Besitzt ein Teilnehmer mehrere Antennenkabel, so wurde das jeweils erstgenannte für die Ringmessungen verwendet.

### 3.3 Messantennen

Teiln. ID	Antennen (mit SN je Teilnehmer) <sup>3)</sup>							
	E log.-per.		E bikonisch				Magnetantenne	
	USLP 9143	ESLP 9145	SBA 9113	SBA 9113 B	EFS 9218	UBBA 9114 <sup>4)</sup>	FMZB 1537	FMZB 1538
1	214		251		109			
2	318							138
3				224				
4	258							
5	382		224					
6	366		241		108			
7	299				138			
8	132			367	106		107	
9	340				158			103
10	103							
11		243		363	204			
12			226			172		
13	208			192	110			129
14	413	256		142	195		114	
15		246		360	186			
16	242			362	102			110
	198							
17	218			280	115			

SN = Seriennummer

<sup>3)</sup> Antennenhersteller: Schwarzbeck, falls nicht anders angegeben

<sup>4)</sup> Der Antennentyp wird nur von einzelnen Teilnehmern verwendet und stellt im Rahmen dieser Ringmessungen keine Standardantenne dar.

### 3.4 Auskoppeladapter Bajog ASK-06

Teiln. ID	Auskoppeladapter		
	Hersteller	Typ	SN
7	Bajog	ASK-06	025
8	Bajog	ASK-06	037
9	Bajog	ASK-06	007
11	Bajog	ASK-06	024
13	Bajog	ASK-06	029
14	Bajog	ASK-06	013
15	Bajog	ASK-06	014
16	Bajog	ASK-06	001
16 B	Bajog	ASK-06	023

SN = Seriennummer

#### **4 Verwendete Testgeräte**

Zur Überprüfung der Antennen und der Antennenkabel wurde der Spektrumanalysator Advantest R3132 mit Trackinggenerator, SNr. 101003435, verwendet.

Das Testsignal für die Analysatorüberprüfung bei drei Frequenzen stammte aus einem Signalgenerator Rohde & Schwarz Broadcast Tester SFU; dieser wurde auch für die Ringmessung DVB-T verwendet.

Das UMTS-Signal für die Ringmessung wurde mit einem Generator Rohde & Schwarz SMIQ 03B erzeugt.

Die Generatoren Rohde & Schwarz SFU und SMIQ 03B wurden freundlicherweise von Prof. Matthias Wuschek, Hochschule Deggendorf, zur Verfügung gestellt. Hierfür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

## 5 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. Als Ausreißer gelten bei den Ringmessungen Abweichungen vom Mittelwert bzw. Median der Gruppe um 5 dB und mehr. Bei den Messgerätevergleichen werden niedrigere Abweichungen angesetzt.

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.

## 6 Messgeräteüberprüfung

### 6.1 Überprüfung der Spektrumanalysatoren

Die Überprüfung der Spektrumanalysatoren erfolgte bei den drei Frequenzen 900 MHz, 1.800 MHz und 2.700 MHz mittels Signalgenerator (Rohde & Schwarz Broadcast Tester SFU). Das vom Generator erzeugte Signal war ein DVB-T-Signal mit 8 MHz Bandbreite und Crestfaktor  $CF = 12,0$  dB, Ausgangspegel  $92$  dB $\mu$ V ( $-15$  dBm) RMS.

Der Output des Generators wurde mit dem Input des zu überprüfenden Spektrumanalysators mittels eines Antennenkabels von 1 m Länge verbunden. Bei den Prüflingen wurden die folgenden Parameter eingestellt: Ref Level  $100$  dB $\mu$ V, Center Frequency  $900$  MHz /  $1.800$  MHz /  $2.700$  MHz, Span  $5$  MHz, RBW  $1$  MHz, VBW  $1$  MHz, Detector Max Peak / RMS, Sweep Time  $100$  ms (Max Peak) /  $500$  ms (RMS), Trace Max Hold. Die Ergebnisse sind in den beiden u.a. Diagrammen zusammengefasst.

Der Ausgangspegel des Generators war auf  $92,0$  dB $\mu$ V ( $-15$  dBm) RMS eingestellt, die Signalbandbreite auf  $8$  MHz. Bei den Analysatoren wurde mit einer RBW von  $1$  MHz gemessen. Berücksichtigt man das Bandbreitenverhältnis, so ergeben sich als Korrekturfaktoren  $10 \log(8 \text{ MHz} / 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 9,0 \text{ dB}$  (Rauschbandbreite = RBW) bzw.  $10 \log(8 \text{ MHz} / 1,1 \cdot 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 8,6 \text{ dB}$  (Rauschbandbreite =  $1,1 \cdot \text{RBW}$ ).

Die zu erwartenden Messwerte liegen somit zwischen  $(92,0 - 9,0)$  dB $\mu$ V RMS =  $83,0$  dB $\mu$ V RMS und  $(92,0 - 8,6)$  dB $\mu$ V RMS =  $83,4$  dB $\mu$ V RMS. Bei  $900$  MHz beträgt der Mittelwert der Messwerte  $82,9$  dB $\mu$ V RMS, der Median  $83,0$  dB $\mu$ V RMS; damit wird der zu erwartende Wert sehr gut getroffen.

Bei einem eingestellten Crestfaktor des Signals von  $12,0$  dB liegen die zu erwartenden Peak-Werte zwischen  $(83,0 + 12,0)$  dB $\mu$ V Peak =  $95,0$  dB $\mu$ V Peak und  $(83,4 + 12,0)$  dB $\mu$ V Peak =  $95,4$  dB $\mu$ V Peak. Bei  $900$  MHz beträgt der Mittelwert der Messwerte  $94,1$  dB $\mu$ V Peak, der Median  $94,3$  dB $\mu$ V Peak; damit wird der zu erwartende Wert noch gut getroffen, wenn auch tendenziell um ca.  $1$  dB niedriger.

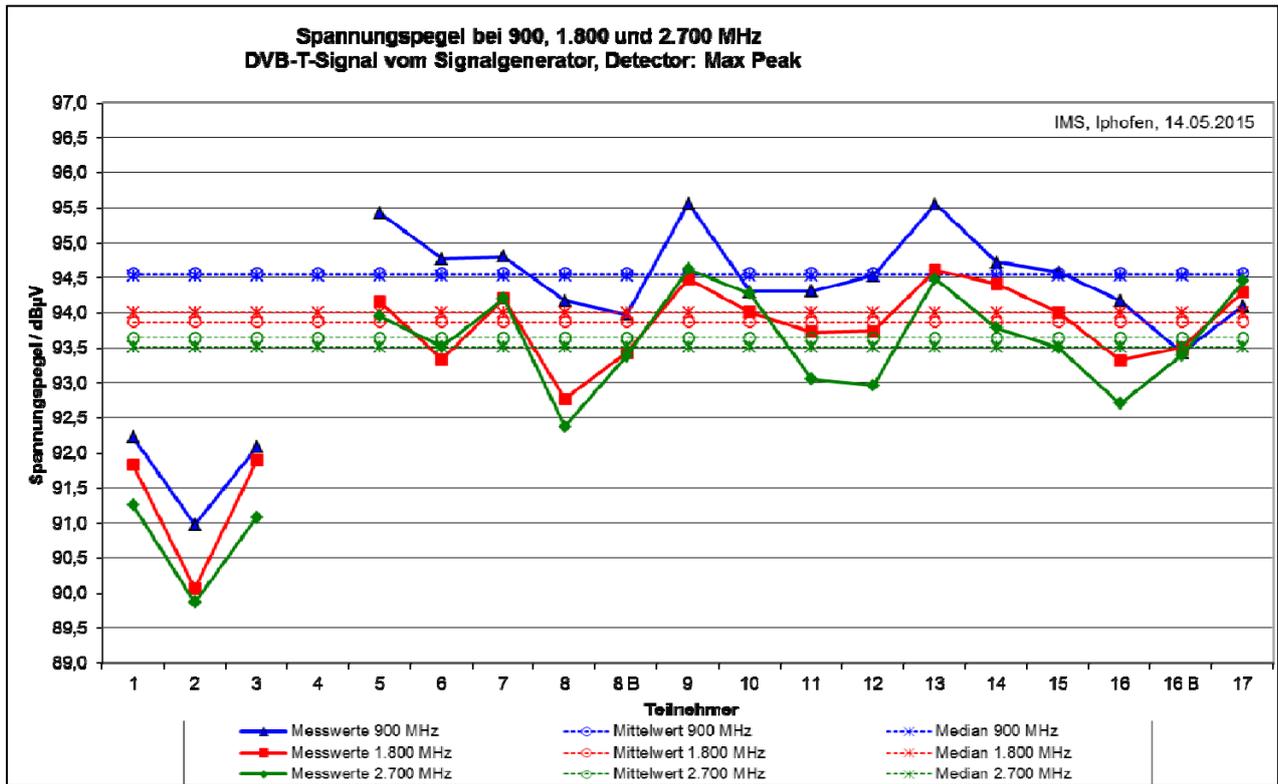
Bei den höheren Frequenzen  $1.800$  MHz und  $2.700$  MHz sinken die Messergebnisse bei beiden Detektoren pro  $900$  MHz-Frequenzstufe um jeweils knapp  $0,5$  dB; wahrscheinlich handelt es sich hier aber um einen anderweitigen Effekt, der nicht den Detektoren zuzuschreiben ist.

Beim Detector Max Peak weisen die älteren Modelle Advantest R 3131 (Teilnehmer 1 - 3) alleamt deutlich höhere Abweichungen auf als die übrigen Analysatoren. Die Analysatoren der Teilnehmer 1 und 3 liegen bei allen Messungen um mehr als  $2$  dB zu niedrig und der Analysator von Teilnehmer 2 liegt bei allen Messungen gar um mehr als  $3,5$  dB zu niedrig. Die Messergebnisse der Teilnehmer 1 bis 3 fließen daher nicht in die Berechnung von Mittelwert und Median der Gruppe ein. Die Abweichungen der übrigen Analysatoren liegen überwiegend unter  $1,0$  dB, in einigen Fällen leicht darüber.

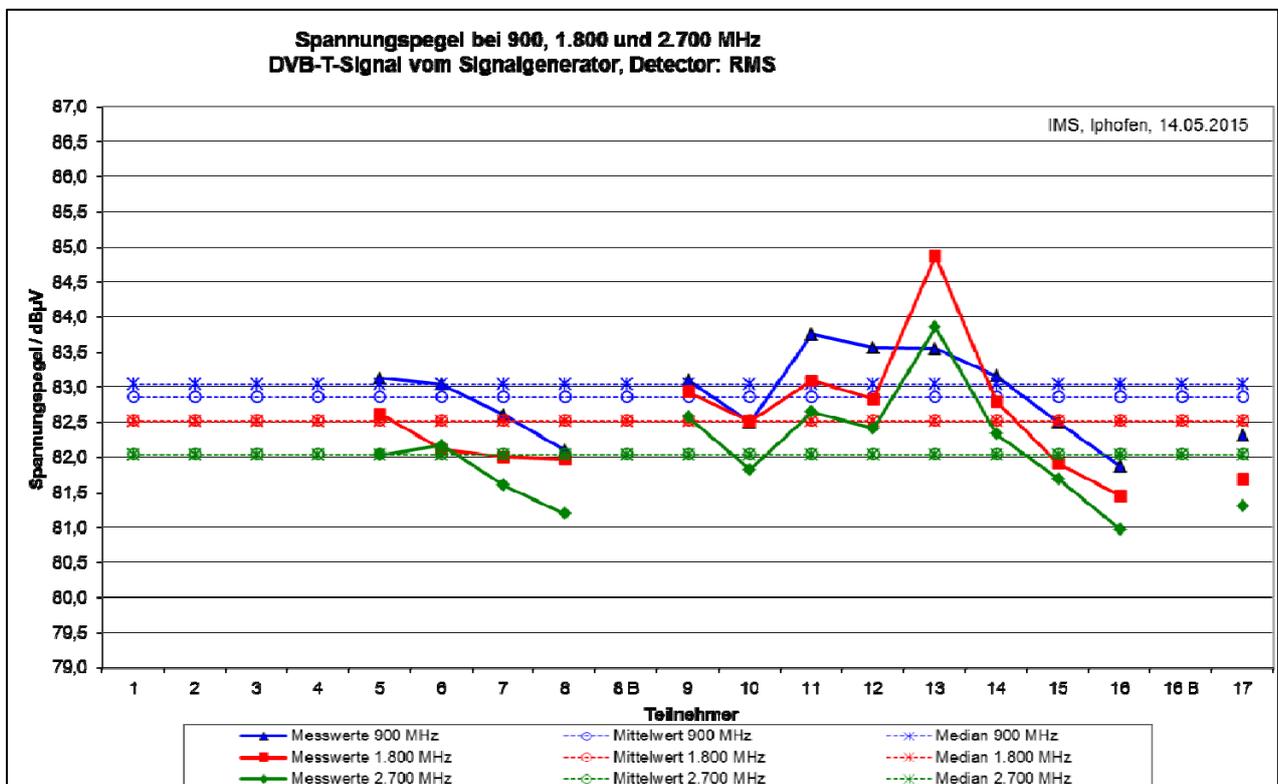
Mit dem RMS-Detector liegen die Abweichungen tendenziell sogar niedriger als mit dem Peak-Detector.

Lediglich der Analysator von Teilnehmer 13 zeigt bei den höheren Frequenzen  $1.800$  MHz und  $2.700$  MHz deutlich über dem Durchschnitt liegende Abweichungen nach oben (Überbewertung). Dies äußert sich auch in einem deutlich verminderten Crestfaktor. Niedrige Crestfaktoren weisen auch die Analysatoren der Teilnehmer 11 und 12 (beide Anritsu MT 8220 A) sowie bei  $1.800$  MHz des Teilnehmers 8 (FSH 3) auf. Ansonsten wird der am Signalgenerator eingestellte Crestfaktor von  $12$  dB gut getroffen. Der bei den Ringmessungen über die „Luftschnittstelle“ i.d.R. zu beobachtende Effekt, dass die gemessenen Crestfaktoren deutlich niedriger ausfallen als zu erwarten wäre, liegt demnach nicht an den Detektoren der Spektrumanalysatoren.

Detector: Max Peak



Detector: RMS



## 6.2 Überprüfung der Antennenkabel

Die Überprüfung erfolgte an einem Spektrumanalysator (Advantest R3132) mit Tracking Generator im Frequenzbereich 100 kHz bis 3 GHz. Da etliche Teilnehmer über mehrere Antennenkabel verfügen, wurden insgesamt 34 Kabel überprüft. Bei 3 der 34 Kabel (entspricht 9 %) erwies sich die Dämpfung als zu hoch; zwei weitere Kabel zeigten leichte Schwächen bei Bewegung.

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.

Teiln. ID	Hersteller	Kabeltyp	SNr.	Länge [m]	Dämpfung bei 3 GHz in dB			Beurteilung der Dämpfung
					IST	SOLL min	SOLL max	
1 *	Schwarzbeck	AK 9513	2	10	5,5	4,5	5,5	in Ordnung
4 *	Schwarzbeck	AK 9513		10	6,0	4,5	5,5	Dämpfung zu hoch
2	Schwarzbeck	AK 9513		5	3,9	2,0	3,0	Dämpfung zu hoch
5	Schwarzbeck	AK 9513	INV 35	5	2,4	2,0	3,0	in Ordnung
7 *	Schwarzbeck	AK 9513	2	5	3,0	2,0	3,0	in Ordnung
8 *	Schwarzbeck	AK 9513	96256	5	2,3	2,0	3,0	in Ordnung
14 *	Schwarzbeck	AK 9513	1	5	5,1	2,0	3,0	Dämpfung zu hoch
16 *	Schwarzbeck	AK 9513		5	2,9	2,0	3,0	in Ordnung
1	Schwarzbeck	AK 9513		5	2,9	2,0	3,0	in Ordnung
7	Schwarzbeck	AK 9513	1	5	3,0	2,0	3,0	in Ordnung
8	Schwarzbeck	AK 9513	95175	5	2,2	2,0	3,0	in Ordnung
6 *	Schwarzbeck	AK 9513		3	1,8	1,5	2,5	in Ordnung
12	Schwarzbeck	AK 9513		3	2,2	1,5	2,5	in Ordnung
14 *	Schwarzbeck	AK 9513	1	3	1,8	1,5	2,5	in Ordnung
16 *	Schwarzbeck	AK 9513	95588	3	1,9	1,5	2,5	in Ordnung
11 *	Schwarzbeck	AK 9513		3	1,9	1,5	2,5	in Ordnung
13	Schwarzbeck	AK 9513		3	1,8	1,5	2,5	in Ordnung
14	Schwarzbeck	AK 9513	2	3	1,8	1,5	2,5	in Ordnung
16	Schwarzbeck	AK 9513		3	2,2	1,5	2,5	in Ordnung
4	Schwarzbeck	AK 9513	95183	3	2,1	1,5	2,5	in Ordnung
3	Schwarzbeck	AK 9513	AK 9513 #4	2	1,8	1,0	2,0	in Ordnung
13 *	Schwarzbeck	AK 9513		2	1,2	1,0	2,0	in Ordnung
1 *	Schwarzbeck	AK 9515 E	96022	5	2,1	1,5	2,5	in Ordnung
14 *	Schwarzbeck	AK 9515 E		3	1,0	1,0	2,0	in Ordnung
15	Schwarzbeck	AK 9515 E	95911	3	1,1	1,0	2,0	in Ordnung
9	Schwarzbeck	AK 9515 E		3	2,0	1,0	2,0	in Ordnung
15 *	Schwarzbeck	AK 9515 H	95683	3	2,1	2,0	3,0	in Ordnung
17	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ		5	3,9	3,0	4,0	in Ordnung <sup>1)</sup>
6	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	140107091	1,5	1,0	1,0	2,0	in Ordnung
11	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	1	1	0,8	0,5	1,5	in Ordnung
11 *	HABIA CABLE	Multibend 402 FJ	2	1	0,9	0,5	1,5	in Ordnung
8 *	Micro-Coax	Utiflex UFB311A	3706-0056	2	1,0	0,5	1,5	in Ordnung <sup>1)</sup>
10	Micro-Coax	Utiflex UFB311A	3706-0024	2	1,0	0,5	1,5	in Ordnung
14 *	Micro-Coax	Utiflex UFB311A		2	1,0	0,5	1,5	in Ordnung

\* Nur für die Kabelüberprüfung verwendet, nicht für die Ringmessungen.

<sup>1)</sup> Leichte Schwankung der Dämpfungswerte bei Bewegung des Kabels, aber noch innerhalb der Toleranz.

### **6.3 Überprüfung des Frequenzgangs der Messantennen**

#### Logarithmisch-periodische und bikonische Antennen (E-Feld)

Die Überprüfung erfolgte an einem Spektrumanalysator (Advantest R3132) mit Tracking Generator, einer Sende- und einer Referenz-Empfangsantenne für die Normalisierung der Prüfeinrichtung. Die Referenz-Empfangsantenne wurde dann gegen die einzelnen Prüflinge ausgetauscht.

Die Prüfung von Antennen des Typs EFS 9218 (bikonisch, 9 kHz - 300 MHz) wurde in diesem Jahr nicht durchgeführt.

#### Magnetfeldantennen FMZB 1537/1538

Spektrumanalysator:

- Rhode & Schwarz FSL 6, SNr. 100260, kalibriert für 9 kHz - 6 GHz, Datum der letzten Kalibrierung: 25.01.2010

Signalquelle:

- Babyphon m-e micro-electronic Typ DBS 102 / Teddybär; Datenübertragung über die Endstromkreise der Elektroanlage (PLC); Betriebsart Dauersenden aktiviert

Antenne:

- Kalibrierte Referenz-Empfangsantenne (zur Normalisierung der Prüfeinrichtung): Schwarzbeck FMZB 1538 SNr. 110; kalibriert für 9 Hz - 30 MHz
- Untersuchte Frequenz: 124,66 kHz
- Einstellungen am Spektrumanalysator  
RBW = 3 kHz, VBW = 10 kHz, Sweeptime = 1 s, Detector RMS, Max Hold

Prüfablauf:

1. Das Babyphon wird über ein Verlängerungskabel von 5 m Länge an eine 230V-Netzsteckdose angeschlossen. Dieses Kabel wird auf einer Länge von 1 m in gerader Linie auf dem Fußboden fixiert. Die Empfangsantenne wird mit ihrem Ring so über dem Kabel positioniert, dass die Ebene des Rings parallel zum Boden und mittig auf dem Kabel liegt; Abstand zwischen Kabel und Antenne: 0 cm.
2. Normalisierung der Prüfeinrichtung; eingestellter Referenzlevel -35 dBm.
3. Austausch der Referenz-Empfangsantenne gegen den Prüfling.
4. Messung des Frequenzgangs des Prüflings als Abweichung gegenüber der Referenz-Empfangsantenne und Abspeichern der Daten zur Erstellung des Prüfberichts.

#### Ergebnisse der Antennenprüfungen

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

Bei den Magnetfeldantennen ist die Einschränkung zu machen, dass der Messaufbau wahrscheinlich noch verbesserungswürdig ist, um die Messgenauigkeit zu erhöhen (siehe nachfolgende Detailauswertung).

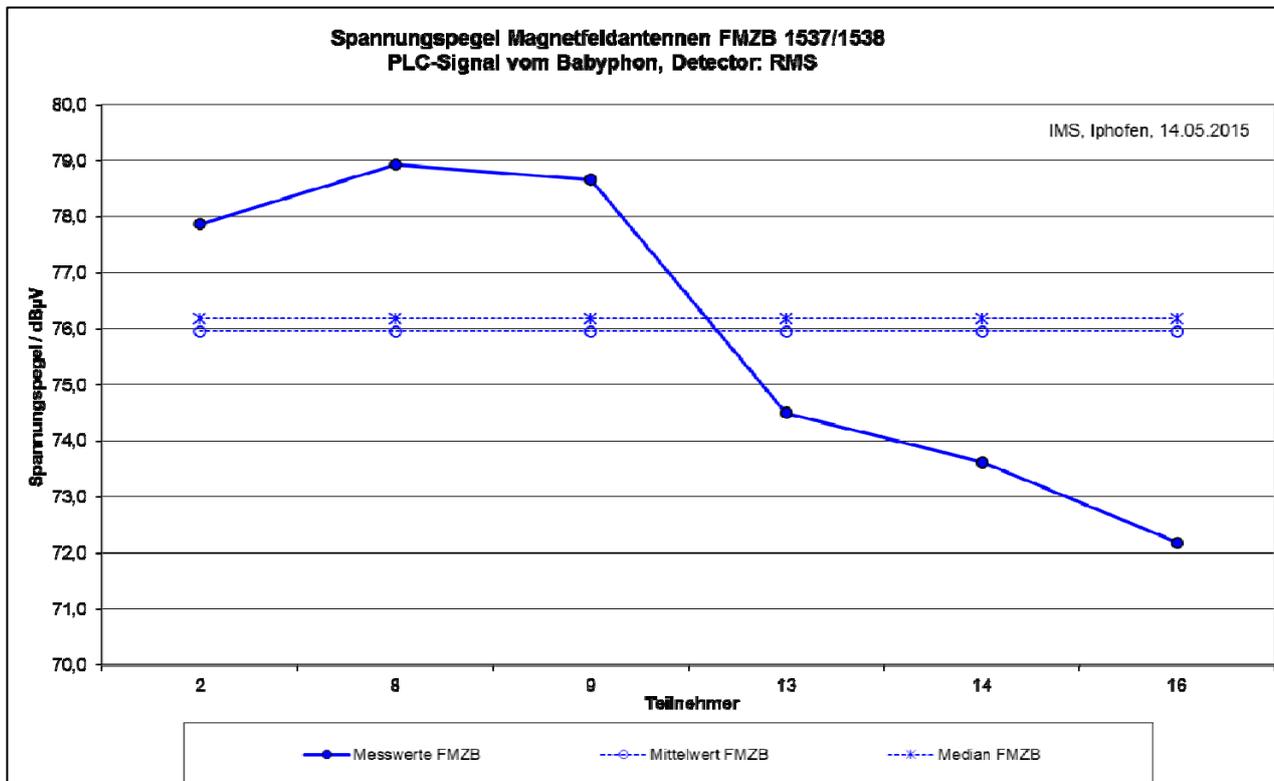
### Ergebnisse der Überprüfung der Magnetfeldantennen

Teiln. ID	FMZB Typ	FMZB SNr.	Spannungspegel dB $\mu$ V	Abweichung vom MW der Gruppe	Abweichung vom Median der Gruppe
2	1538	138	77,86	1,9	1,7
8	1537	107	78,93	3,0	2,8
9	1538	103	78,66	2,7	2,5
13	1538	129	74,49	-1,5	-1,7
14	1537	114	73,62	-2,3	-2,6
16	1538	110	72,18	-3,8	-4,0

Standardabw. der Gruppe: 2,6

Mittelwert der Gruppe: 76,0

Median der Gruppe: 76,2



### 6.3.1 Überprüfung der Auskoppeladapter Bajog ASK-06

#### Prüfaufbau

Spektrumanalysator:

- Rhode & Schwarz FSL 6, SNr. 100260, kalibriert für 9 kHz - 6 GHz, Datum der letzten Kalibrierung: 25.01.2010

Signalquellen für PLC:

- Babyphon m-e micro-electronic Typ DBS 102 / Teddybär; Datenübertragung über die Endstromkreise der Elektroanlage (PLC); Betriebsart Dauersenden aktiviert
- dLAN Devolo 650+, Set von zwei Modems, mit aktiver Datenübertragung

Referenz-Prüfling:

- Kalibrierter Referenz-Auskoppeladapter ASK-06 der Firma Bajog electronic, SN 023, kalibriert für 10 Hz - 30 MHz
- Untersuchte Frequenzen
  - für Babyphon: 124,66 kHz
  - für dLAN: 1 - 30 MHz
- Einstellungen am Spektrumanalysator
  - für Babyphon: RBW = 3 kHz, VBW = 10 kHz, Sweep time = 1 s, Detector RMS, Max Hold
  - für dLAN: Channel Power, RBW = 3 kHz, VBW = 10 kHz, Sweep time = 3,2 s, Detector RMS, Max Hold

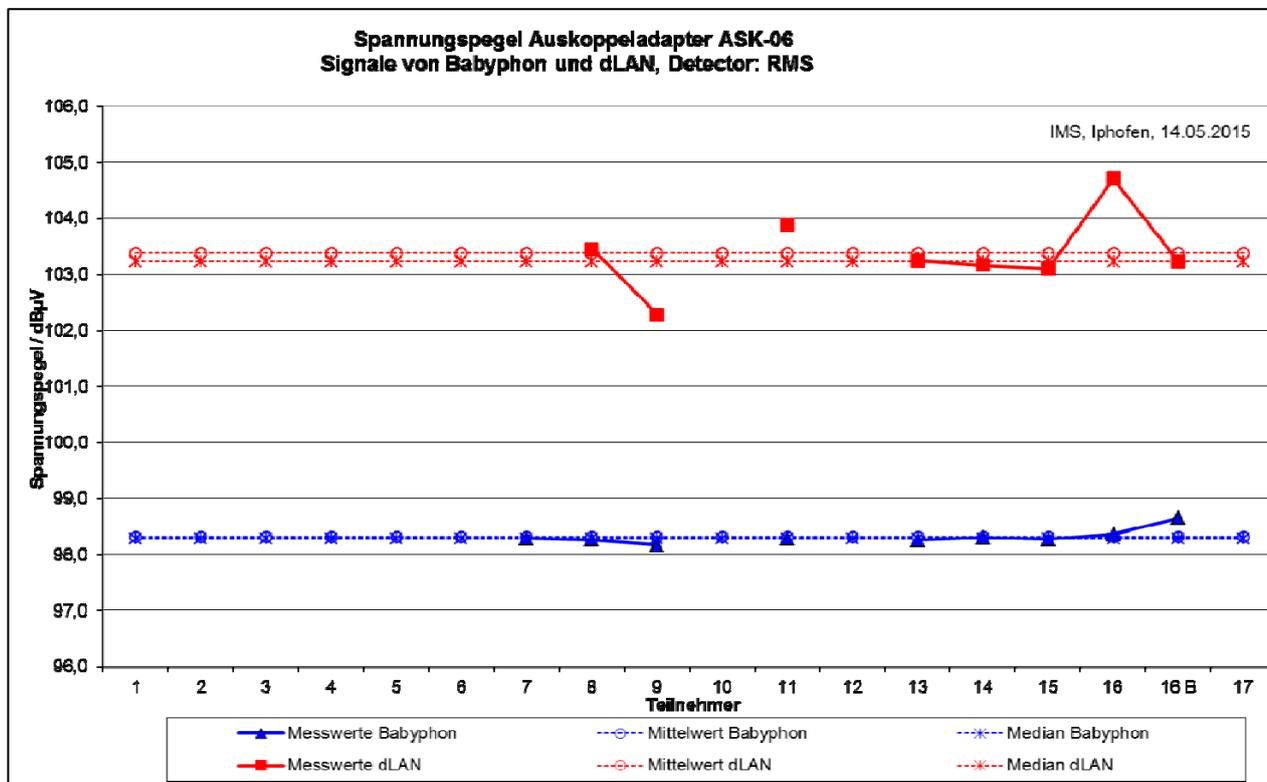
#### Prüfablauf

1. Die beiden dLAN-Modems werden am Anfang und Ende eines 5 m langen Verlängerungskabels in jeweils einer Verteilerleiste eingesteckt. Es erfolgt ein Datenverkehr zwischen zwei an die Modems angeschlossenen Notebooks.
2. In der Verteilerleiste am Ende des Verlängerungskabels wird der Referenz- ASK-06 neben dem Netzanschluss des dLAN-Modems eingesteckt.
3. Über eine BNC-Kabelverbindung wird das Signal vom ASK-06 zum Eingang des Spektrumanalysators übertragen. Das gemessene Spektrum wird als dLAN-Referenz-Spektrum abgespeichert.
4. Austausch des Referenz-ASK-06 gegen die Prüflinge.
5. Messung der Frequenzgänge der Prüflinge als Abweichungen gegenüber denen des Referenz-ASK-06 und Abspeichern der Daten zur Erstellung des Prüfberichts.
6. Entfernung der beiden dLAN-Modems; dafür wird nun der Netzanschluss des Babyphons neben dem Referenz-ASK-06 in der Verteilerleiste eingesteckt.
7. Wiederholung der Schritte 3 bis 5 für das Babyphon-Spektrum.

Ergebnisse der Prüfung der Auskoppeladapter Bajog ASK-06

Detector RMS				Babyphon		dLAN	
Teiln. ID	ASK-06 SNr.	Spannungspegel dB <sub>μ</sub> V		Abweichung vom MW der Gruppe	Abweichung vom Median der Gruppe	Abweichung vom MW der Gruppe	Abweichung vom Median der Gruppe
		Babyphon	dLAN				
1	-						
2	-						
3	-						
4	-						
5	-						
6	-						
7	025	98,28		0,0			
8	037	98,26	103,45	-0,1	0,0	0,1	0,2
9	007	98,16	102,28	-0,2	-0,1	-1,1	-0,9
10	-						
11	024	98,28	103,88	0,0	0,0	0,5	0,7
12	-						
13	029	98,25	103,24	-0,1	0,0	-0,1	0,0
14	013	98,30	103,16	0,0	0,0	-0,2	-0,1
15	014	98,27	103,10	0,0	0,0	-0,3	-0,1
16	001	98,36	104,70	0,0	0,1	1,3	1,5
16 B	023	98,65	103,22	0,3	0,4	-0,2	0,0
17	-						

Standardabw. der Gruppe:            0,1        0,6  
 Mittelwert der Gruppe:            98,3        103,4  
 Median der Gruppe:                98,3        103,2



Alle Auskoppeladapter werden auf Grund der Überprüfung als „in Ordnung“ befunden.

## 7 Ringmessung DVB-T

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die DVB-T-Ringmessung wurde am 13. Mai 2015 im Treppenhaus des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen durchgeführt. Im Treppenhaus war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Das DVB-T-Signal für den UHF-Bereich (Centerfrequenz 650 MHz, Kanalbandbreite 8 MHz) wurde von einem Signalgenerator erzeugt (Rohde & Schwarz Broadcast Tester SFU, eingestellter 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, log.-per.

### Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

Spektralbereich: 300 ... 3.000 MHz  
Ausgewertet wird aus dem Spektralbereich der maximale Pegel um 650 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 300 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz  
Detector: Max Peak / RMS  
Sweep Time: 500 ms  
Trace: Max Hold

### 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 / RMS  
Sweep Time: 100 ms (Max Peak) / 500 ms (RMS)  
Trace: Max Hold

## 7.1 Messergebnisse DVB-T, Filter Sweep

### Detector: Max Peak

#### Messergebnisse

#### DVB-T, Filter Sweep, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen / SNr.	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131	USLP 9143	eigene	85,63	84,55	81,61	83,9	1,7	-1,4	-1,7
2	R 3131	USLP 9143	eigene	84,35	85,65	84,75	84,9	0,5	-0,4	-0,7
3	R 3131	USLP 9143	242	86,51	85,18	86,07	85,9	0,6	0,6	0,3
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	88,24	87,86	86,59	87,6	0,7	2,3	1,9
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	83,92	85,39	85,88	85,1	0,8	-0,2	-0,6
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	84,33	84,31	83,26	84,0	0,5	-1,3	-1,7
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	84,84	85,54	86,64	85,7	0,7	0,4	0,0
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	85,43	84,07	83,94	84,5	0,7	-0,8	-1,2
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	85,74	87,31	87,04	86,7	0,7	1,4	1,1
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	86,06	87,01	85,87	86,3	0,5	1,0	0,7
11	MT 8220 A	USLP 9143	103	80,35	80,11	81,62	80,7	0,7	-4,6	-4,9
12	MT 8220 A	USLP 9143	103	84,01	81,77	79,93	81,9	1,7	-3,4	-3,7
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	89,58	89,14	89,25	89,3	0,2	4,0	3,7
15	FSL 18	USLP 9143	132	86,24	86,28	86,11	86,2	0,1	0,9	0,6
16	FSL 6	USLP 9143	214	85,73	85,06	85,73	85,5	0,3	0,2	-0,1
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	85,10	87,10	87,10	86,4	0,9	1,1	0,8

Standardabweichung der Gruppe:

2,2

Mittelwert der Gruppe:

85,3

Median der Gruppe:

85,6

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 2,2 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +4,0 dB bzw. -4,6 dB, vom Median der Gruppe +3,7 dB bzw. -4,9 dB.

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

### Detector: RMS

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 2,0 dB.

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

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

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

Messergebnisse

DVB-T, Filter Sweep, Detector RMS

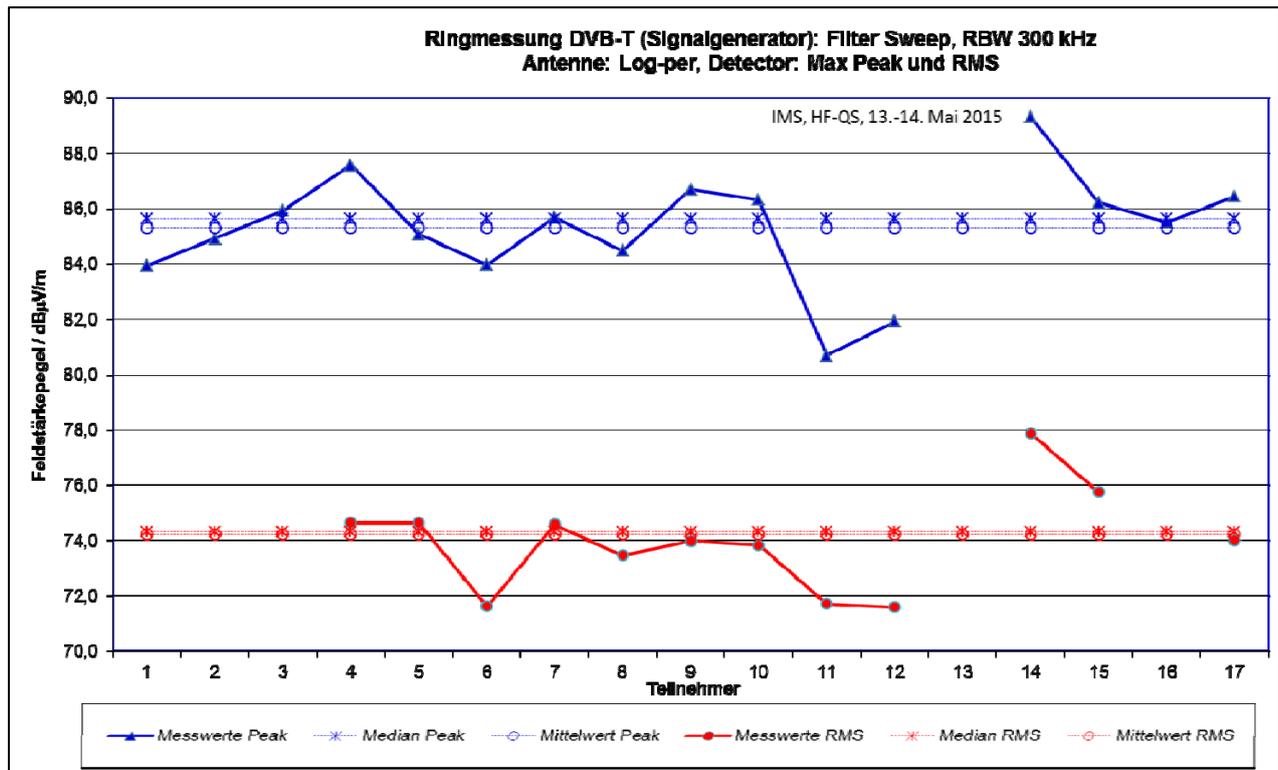
Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131									
2	R 3131									
3	R 3131									
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	73,98	74,58	75,33	74,6	0,6	0,4	0,3
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	74,85	74,32	74,73	74,6	0,2	0,4	0,3
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	72,36	71,25	71,26	71,6	0,5	-2,6	-2,7
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	74,54	74,14	75,04	74,6	0,4	0,3	0,3
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	72,45	74,71	73,21	73,5	0,9	-0,8	-0,9
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	74,41	73,50	74,07	74,0	0,4	-0,2	-0,3
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	73,99	74,42	73,11	73,8	0,5	-0,4	-0,5
11	MT 8220 A	USLP 9143	103	72,12	72,29	70,73	71,7	0,7	-2,5	-2,6
12	MT 8220 A	USLP 9143	103	71,50	70,29	72,99	71,6	1,1	-2,6	-2,7
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	77,90	77,62	78,10	77,9	0,2	3,6	3,6
15	FSL 18	USLP 9143	132	76,13	75,71	75,41	75,8	0,3	1,5	1,4
16	FSL 6	USLP 9143	214	77,44	77,79	76,95	77,4	0,3	3,2	3,1
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	74,30	72,80	74,90	74,0	0,9	-0,2	-0,3

Standardabweichung der Gruppe:

Mittelwert der Gruppe:

Median der Gruppe:

2,0
74,2
74,3



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

## 7.2 Messergebnisse DVB-T, Channel Power

### Detector: Max Peak

#### Messergebnisse

#### DVB-T, Channel Power, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	USLP 9143	eigene	98,19	97,99	99,79	98,7	0,8	0,1	0,4
2	R 3131	USLP 9143	eigene	96,05	96,25	96,35	96,2	0,1	-2,3	-2,0
3	R 3131	USLP 9143	242	99,53	100,09	100,29	100,0	0,3	1,4	1,8
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	101,46	101,19	101,34	101,3	0,1	2,8	3,1
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	99,06	97,98	99,00	98,7	0,5	0,1	0,5
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	96,69	98,89	100,05	98,5	1,4	0,0	0,3
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	96,94	95,44	96,44	96,3	0,6	-2,3	-1,9
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	98,79	98,29	98,54	98,5	0,2	0,0	0,3
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	98,24	97,64	97,34	97,7	0,4	-0,8	-0,5
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	97,73	97,43	97,40	97,5	0,1	-1,0	-0,7
11	MT 8220 A	USLP 9143	103	97,32	95,82	95,92	96,4	0,7	-2,2	-1,9
12	MT 8220 A	USLP 9143	103	96,05	95,59	96,70	96,1	0,5	-2,5	-2,1
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	102,06	102,15	102,33	102,2	0,1	3,6	4,0
15	FSL 18	USLP 9143	132	100,62	100,05	100,33	100,3	0,2	1,8	2,1
16	FSL 6	USLP 9143	214	101,06	100,43	101,60	101,0	0,5	2,5	2,8
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	97,70	97,30	97,60	97,5	0,2	-1,0	-0,7

Standardabweichung der Gruppe:

2,0

Mittelwert der Gruppe:

98,6

Median der Gruppe:

98,2

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 2,0 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. -2,5 dB, vom Median der Gruppe +4,0 dB bzw. -2,1 dB.

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

### Detector: RMS

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,7 dB.

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

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

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

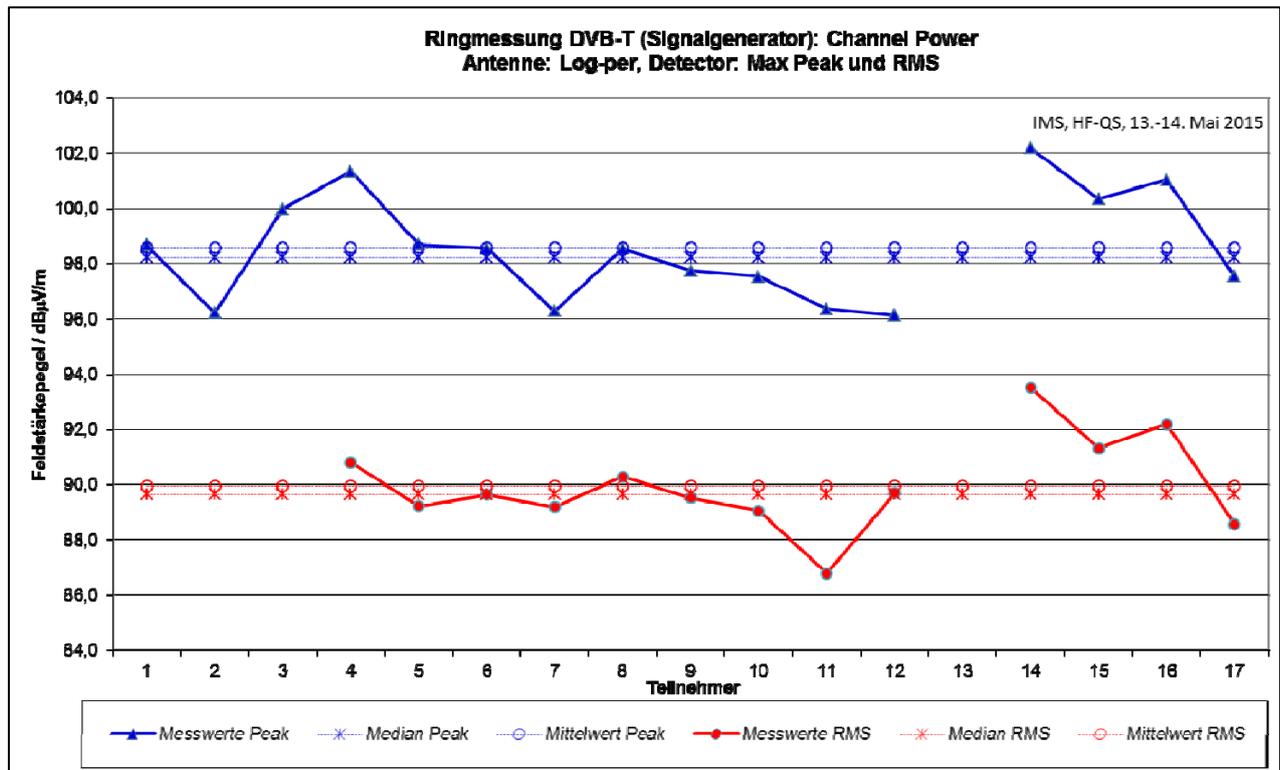
**Messergebnisse**

**DVB-T, Channel Power, Detector RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131									
2	R 3131									
3	R 3131									
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	90,99	90,59	90,69	90,8	0,2	0,8	1,1
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	89,16	89,28	89,17	89,2	0,1	-0,8	-0,4
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	88,97	88,65	91,30	89,6	1,2	-0,3	0,0
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	87,94	89,94	89,64	89,2	0,9	-0,8	-0,5
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	90,39	90,76	89,69	90,3	0,4	0,3	0,6
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	89,34	89,54	89,64	89,5	0,1	-0,4	-0,1
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	88,50	89,18	89,46	89,0	0,4	-0,9	-0,6
11	MT 8220 A	USLP 9143	103	86,72	86,52	87,12	86,8	0,2	-3,2	-2,9
12	MT 8220 A	USLP 9143	103	89,66	88,96	90,47	89,7	0,6	-0,3	0,0
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	93,41	93,73	93,37	93,5	0,2	3,5	3,9
15	FSL 18	USLP 9143	132	91,14	91,41	91,39	91,3	0,1	1,4	1,7
16	FSL 6	USLP 9143	214	92,16	92,10	92,27	92,2	0,1	2,2	2,5
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	87,80	88,00	89,90	88,6	0,9	-1,4	-1,1

Standardabweichung der Gruppe:  
 Mittelwert der Gruppe:  
 Median der Gruppe:

1,7
90,0
89,7



### 7.3 Gemessene Crestfaktoren, 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.

Filter Sweep	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	85,3 – 74,2 = 11,1	85,6 – 74,3 = 11,3

Mit 11,1 bzw. 11,3 dB liegt der mittels Filter Sweep über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor recht nahe an dem Crestfaktor des Sendesignals von 12,0 dB (Abweichung –0,9 bzw. –0,7 dB).

Channel Power	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	98,6 – 90,0 = 8,6	98,2 – 89,7 = 8,5

Mit 8,6 bzw. 8,5 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus (ca. 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.

### 7.4 Gemessene Crestfaktoren, 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.

Standardabweichung, Mittelwert und Median der Gruppe werden einmal mit und einmal ohne Ausreißer (o.A.) berechnet. Dabei werden Crestfaktoren unter 7,0 dB als unrealistisch betrachtet und gelten als Ausreißer. Ebenso gilt ein Crestfaktor als Ausreißer, wenn mindestens einer der Messwerte Peak bzw. RMS einen Ausreißer darstellt.

#### Filter Sweep

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	83,9		
2	R 3131	84,9		
3	R 3131	85,9		
4	FSH 3	87,6	74,6	12,9
5	FSH 3	85,1	74,6	10,4
6	FSH 3	84,0	71,6	12,3
7	FSH 3	85,7	74,6	11,1
8	FSH 3	84,5	73,5	11,0
9	FSH 6	86,7	74,0	12,7
10	FSH 6	86,3	73,8	12,5
11	MT 8220 A	80,7	71,7	9,0
12	MT 8220 A	81,9	71,6	10,3
13	FSP 13			
14	FSL 18	89,3	77,9	11,5
15	FSL 18	86,2	75,8	10,5
16	FSL 6	85,5	77,4	8,1
17	FSL 6	86,4	74,0	12,4

Hier gibt es keine Ausreißer.

Die Crestfaktoren entsprechen mit im Mittel 11,1 dB recht gut den am Generator eingestellten 12,0 dB und sind praktisch identisch mit den aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

1,4

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

11,1

Median der Gruppe (o. A.):

11,1

## Channel Power

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	98,7		
2	R 3131	96,2		
3	R 3131	100,0		
4	FSH 3	101,3	90,8	10,5
5	FSH 3	98,7	89,2	9,5
6	FSH 3	98,5	89,6	8,9
7	FSH 3	96,3	89,2	7,1
8	FSH 3	98,5	90,3	8,3
9	FSH 6	97,7	89,5	8,2
10	FSH 6	97,5	89,0	8,5
11	MT 8220 A	96,4	86,8	9,6
12	MT 8220 A	96,1	89,7	6,4
13	FSP 13			
14	FSL 18	102,2	93,5	8,7
15	FSL 18	100,3	91,3	9,0
16	FSL 6	101,0	92,2	8,9
17	FSL 6	97,5	88,6	9,0

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	0,8
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	8,8
Median der Gruppe (o. A.):	8,9

Standardabweichung der Gruppe:	1,0
Mittelwert der Gruppe:	8,7
Median der Gruppe:	8,9

Da es nur einen, dazu noch recht schwachen Ausreißer gibt, unterscheiden sich Mittelwert und Median mit und ohne Ausreißer nur unwesentlich.

Der aus den persönlichen Crestfaktoren berechnete Mittelwert und der Median sind mit knapp 9 dB gut 3 dB kleiner als die am Generator eingestellten 12,0 dB, und beide Werte liegen lediglich ein paar Zehntel dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

## 7.5 Vergleich von Filter Sweep (RBW 300 kHz) und Channel Power-Messung

Die Filter Sweep-Messung erfolgte mit einer RBW von lediglich 300 kHz, wie sie in Übersichtsmessungen für das zentrale Spektrum 300 MHz bis 3 GHz häufig verwendet wird. Hierbei erfolgt eine deutliche Unterbewertung des Pegels in Höhe von

- $10 \log (8 \text{ MHz} / 0,3 \text{ MHz}) \text{ dB} = 14,3 \text{ dB}$  bzw.
- $10 \log (8 \text{ MHz} / 1,1 \cdot 0,3 \text{ MHz}) \text{ dB} = 13,8 \text{ dB}$

Im Fall a) ist die Rauschbandbreite des Filters gleich der RBW gesetzt, im Fall b) beträgt die Rauschbandbreite das 1,1-Fache der RBW. In der Literatur sind beide Angaben zu finden.

### Detector Max Peak

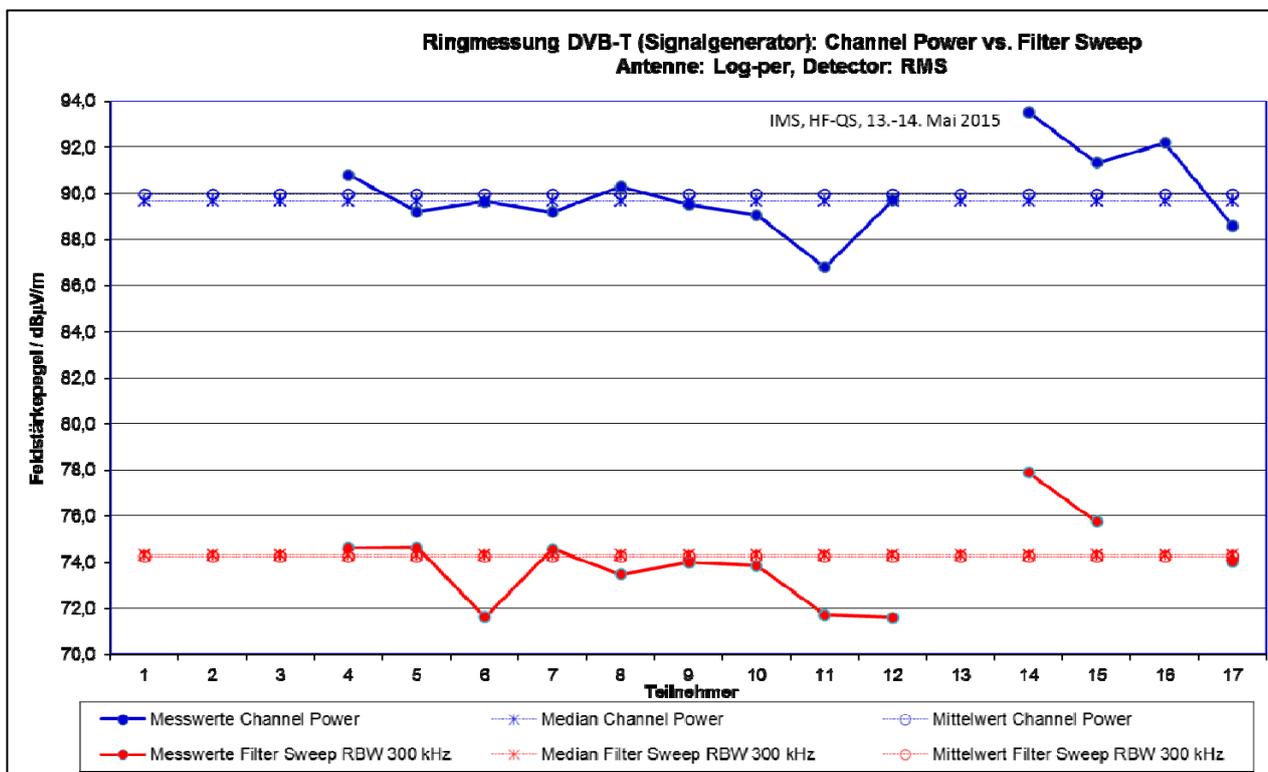
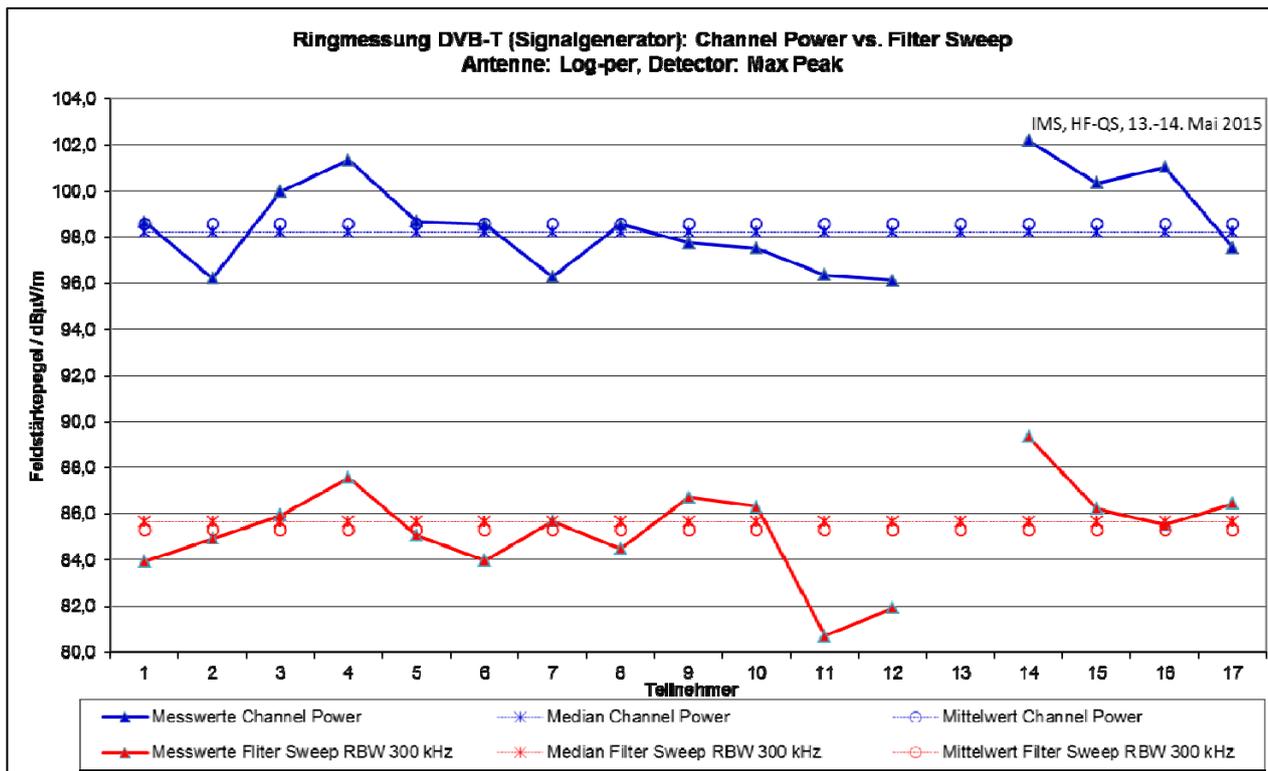
Mit dem Detector Max Peak beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung  $98,6 \text{ dB} - 85,3 \text{ dB} = 13,3 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $98,2 \text{ dB} - 85,6 \text{ dB} = 12,6 \text{ dB}$  (Median).

Diesen Werten kommt der mit Formel b) berechnete Faktor am nächsten (Abweichung +0,5 dB bzw. +1,2 dB).

### Detector RMS

Mit dem Detector RMS beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung  $90,0 \text{ dB} - 74,2 \text{ dB} = 15,8 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $89,7 \text{ dB} - 74,3 \text{ dB} = 15,4 \text{ dB}$  (Median).

Im Gegensatz zum Detector Max Peak kommt beim RMS-Detector diesen Werten der mit Formel a) berechnete Faktor am nächsten (Abweichung -1,5 dB bzw. -1,1 dB).



## 8 Ringmessung DECT Schnurlostelefon

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die DECT-Ringmessung erfolgte am 13. Mai 2015 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.

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

### Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

Spektralbereich: 1.880 ... 1.900 MHz,  
ausgewertet wird aus dem Spektralbereich der maximale Pegel  
mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 300 kHz / 1 MHz (Detector Max Peak); 1 MHz (Detector RMS)

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak / RMS

Sweep Time: 1 s

Trace: Max Hold

## 8.1 Messergebnisse DECT, Filter Sweep

### Filter Sweep, Detector Max Peak, RBW 300 kHz

#### Messergebnisse mit Ausreißern

#### DECT, Filter Sweep, Det. Max Peak, RBW 300 kHz

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	USLP 9143	eigene	120,16	120,77	119,19	120,0	0,7	4,7	1,7
2	R 3131	USLP 9143	eigene	115,98	115,38	115,98	115,8	0,3	0,4	-2,6
3	R 3131	USLP 9143	242	78,06	78,92	75,03	77,3	1,7	-38,0	-41,0
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	118,98	118,27	118,27	118,5	0,3	3,1	0,1
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,63	118,49	120,64	119,6	0,9	4,2	1,2
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,18	117,51	118,02	118,2	0,7	2,9	-0,1
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	116,99	118,09	116,69	117,3	0,6	1,9	-1,1
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,11	118,85	118,07	118,7	0,4	3,3	0,3
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	120,04	119,44	120,22	119,9	0,3	4,5	1,5
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	120,72	118,56	118,88	119,4	1,0	4,0	1,0
11	MT 8220 A	ESLP 9145	eigene	112,56	113,21	112,33	112,7	0,4	-2,7	-5,7
12	MT 8220 A	USLP 9143	242	112,90	113,84	113,38	113,4	0,4	-2,0	-5,0
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	120,38	121,05	120,46	120,6	0,3	5,3	2,3
15	FSL 18	ESLP 9145	eigene	118,80	117,84	117,68	118,1	0,5	2,7	-0,3
16	FSL 6	USLP 9143	214	118,58	118,48	117,80	118,3	0,3	2,9	-0,1
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	118,50	117,80	118,50	118,3	0,3	2,9	-0,1

Standardabweichung der Gruppe:

10,1

Mittelwert der Gruppe:

115,4

Median der Gruppe:

118,4

Bemerkungen: Nr. 3: Marker war nicht auf Max Peak gesetzt

#### Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)

#### DECT, Filter Sweep, Det. Max Peak, RBW 300 kHz

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	USLP 9143	eigene	120,16	120,77	119,19	120,0	0,7	1,3	1,5
2	R 3131	USLP 9143	eigene	115,98	115,38	115,98	115,8	0,3	-2,9	-2,8
3	R 3131	USLP 9143	242	119,75			119,8	0,0	1,1	1,2
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	118,98	118,27	118,27	118,5	0,3	-0,2	-0,1
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,63	118,49	120,64	119,6	0,9	0,9	1,0
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,18	117,51	118,02	118,2	0,7	-0,5	-0,3
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	116,99	118,09	116,69	117,3	0,6	-1,4	-1,3
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,11	118,85	118,07	118,7	0,4	0,0	0,1
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	120,04	119,44	120,22	119,9	0,3	1,2	1,3
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	120,72	118,56	118,88	119,4	1,0	0,7	0,8
11	MT 8220 A	ESLP 9145	eigene	112,56	113,21	112,33	112,7	0,4	-6,0	-5,9
12	MT 8220 A	USLP 9143	242	112,90	113,84	113,38	113,4	0,4	-5,3	-5,2
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	120,38	121,05	120,46	120,6	0,3	1,9	2,1
15	FSL 18	ESLP 9145	eigene	118,80	117,84	117,68	118,1	0,5	-0,6	-0,5
16	FSL 6	USLP 9143	214	118,58	118,48	117,80	118,3	0,3	-0,4	-0,3
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	118,50	117,80	118,50	118,3	0,3	-0,4	-0,3

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,3

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

118,7

Median der Gruppe (o.A.):

118,6

Mit der Korrektur von Teilnehmer 3 und ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 10,1 dB auf 1,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

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

Die höchste persönliche Standardabweichung mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt 1,0 dB, die niedrigste 0,3 dB.

### Filter Sweep, Detector Max Peak, RBW 1 MHz

#### Messergebnisse mit Ausreißern

#### DECT, Filter Sweep, Det. Max Peak, RBW 1 MHz

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	USLP 9143	eigene	120,33	120,30	120,99	120,5	0,3	3,9	1,2
2	R 3131	USLP 9143	eigene	117,48	117,08	117,28	117,3	0,2	0,7	-2,0
3	R 3131	USLP 9143	242	74,21	75,36	74,84	74,8	0,5	-41,8	-44,5
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,51	118,72	120,14	119,5	0,6	2,8	0,1
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	120,41	120,73	121,11	120,8	0,3	4,1	1,4
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	117,54	118,24	116,47	117,4	0,7	0,8	-1,9
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	116,99	119,69	119,29	118,7	1,2	2,0	-0,7
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	118,29	119,11	118,99	118,8	0,4	2,2	-0,5
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	119,24	118,74	120,14	119,4	0,6	2,7	0,1
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	120,44	119,25	119,61	119,8	0,5	3,1	0,5
11	MT 8220 A	ESLP 9145	eigene	119,78	119,34	119,29	119,5	0,2	2,8	0,2
12	MT 8220 A	USLP 9143	242	120,11	120,64	120,65	120,5	0,3	3,8	1,2
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	121,81	121,00	120,86	121,2	0,4	4,6	1,9
15	FSL 18	ESLP 9145	eigene	119,68	119,21	118,49	119,1	0,5	2,5	-0,2
16	FSL 6	USLP 9143	214	119,43	118,65	120,93	119,7	0,9	3,0	0,4
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	119,70	119,00	119,10	119,3	0,3	2,6	0,0

Standardabweichung der Gruppe:

10,9

Mittelwert der Gruppe:

116,6

Median der Gruppe:

119,3

Bemerkungen: Nr. 3: Marker war nicht auf Max Peak gesetzt

**Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)**

**DECT, Filter Sweep, Det. Max Peak, RBW 1 MHz**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131	USLP 9143	eigene	120,33	120,30	120,99	120,5	0,3	1,1	1,1
2	R 3131	USLP 9143	eigene	117,48	117,08	117,28	117,3	0,2	-2,1	-2,2
3	R 3131	USLP 9143	242	119,98			120,0	0,0	0,6	0,5
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	119,51	118,72	120,14	119,5	0,6	0,0	0,0
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	120,41	120,73	121,11	120,8	0,3	1,3	1,3
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	117,54	118,24	116,47	117,4	0,7	-2,0	-2,1
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	116,99	119,69	119,29	118,7	1,2	-0,8	-0,8
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	118,29	119,11	118,99	118,8	0,4	-0,6	-0,7
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	119,24	118,74	120,14	119,4	0,6	-0,1	-0,1
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	120,44	119,25	119,61	119,8	0,5	0,3	0,3
11	MT 8220 A	ESLP 9145	eigene	119,78	119,34	119,29	119,5	0,2	0,0	0,0
12	MT 8220 A	USLP 9143	242	120,11	120,64	120,65	120,5	0,3	1,0	1,0
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	121,81	121,00	120,86	121,2	0,4	1,8	1,8
15	FSL 18	ESLP 9145	eigene	119,68	119,21	118,49	119,1	0,5	-0,3	-0,3
16	FSL 6	USLP 9143	214	119,43	118,65	120,93	119,7	0,9	0,2	0,2
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	119,70	119,00	119,10	119,3	0,3	-0,2	-0,2

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,2

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

119,4

Median der Gruppe (o.A.):

119,5

Mit der Korrektur von Teilnehmer 3 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 10,9 dB auf 1,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

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

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

**Filter Sweep, Detector RMS, RBW 1 MHz**

Messergebnisse

DECT, Filter Sweep, Det. RMS, RBW 1 MHz

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131									
2	R 3131									
3	R 3131									
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	101,36	101,40	102,80	101,9	0,7	-1,9	-1,9
5	FSH 3	USLP 9143	eigene	101,35	102,15	102,69	102,1	0,6	-1,6	-1,7
6	FSH 3	USLP 9143	eigene	102,24	101,46	102,94	102,2	0,6	-1,5	-1,5
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	100,89	101,89	101,89	101,6	0,5	-2,1	-2,2
8	FSH 3	USLP 9143	eigene	102,98	101,46	103,67	102,7	0,9	-1,0	-1,0
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	104,34	103,84	103,74	104,0	0,3	0,3	0,2
10	FSH 6	USLP 9143	eigene	103,53	102,68	102,28	102,8	0,5	-0,9	-0,9
11	MT 8220 A	ESLP 9145	eigene	104,40	103,44	104,57	104,1	0,5	0,4	0,4
12	MT 8220 A	USLP 9143	242	104,43	105,30	105,11	104,9	0,4	1,2	1,2
13	FSP 13									
14	FSL 18	USLP 9143	eigene	106,71	105,99	107,26	106,7	0,5	2,9	2,9
15	FSL 18	ESLP 9145	eigene	104,62	105,51	105,43	105,2	0,4	1,5	1,4
16	FSL 6	USLP 9143	214	104,97	105,03	104,03	104,7	0,5	1,0	0,9
17	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,80	106,40	104,90	105,4	0,7	1,7	1,6

Standardabweichung der Gruppe:  
Mittelwert der Gruppe:  
Median der Gruppe:

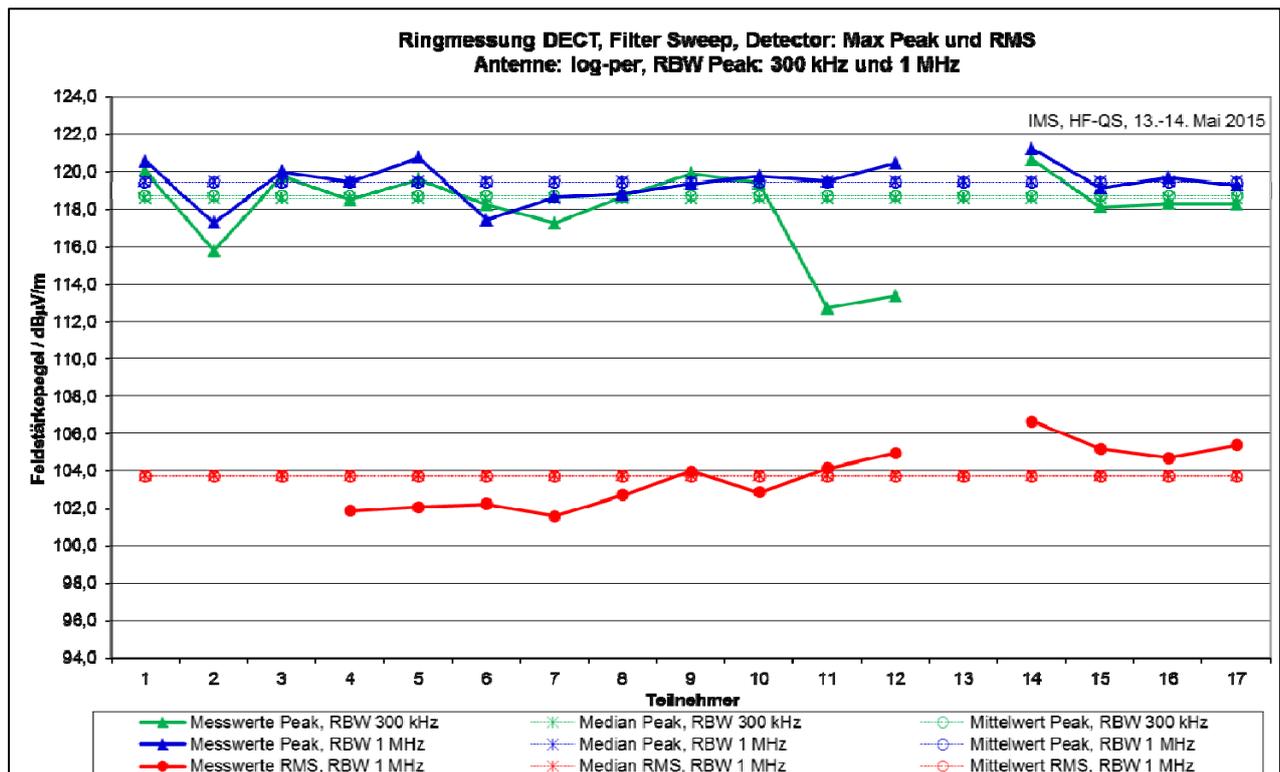
1,6
103,7
103,7

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,6 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich nicht.

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

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



## 8.2 Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und unterschiedlicher RBW

Die Filterbandbreiten RBW 300 kHz und 1 MHz unterscheiden sich um  $10 \log(1/0,3) \text{ dB} = 5,2 \text{ dB}$ .

Die Messergebnisse unterscheiden sich jedoch um weniger als 1 dB:

$119,4 \text{ dB} - 118,7 \text{ dB} = 0,7 \text{ dB}$  (Mittelwert) und

$119,5 \text{ dB} - 118,6 \text{ dB} = 0,9 \text{ dB}$  (Median).

Der Unterschied zwischen Rechnung und Messung erklärt sich dadurch, dass die Hüllkurve des DECT-Signals im Spektrum keine Gleichverteilung darstellt („Tafelberg“, wie z.B. bei DVB-T), sondern eine Glockenkurve. Unter solchen Bedingungen ist eine einfache Bandbreitenhochrechnung zur Korrektur nicht zulässig.

## 8.3 Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und RMS, RBW 1 MHz

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“  $> 0,09 \text{ ms}$  der Messwert „heruntergemittelt“ (die gesamte Sweeptime beträgt dabei  $0,09 \text{ ms} \times \text{Anzahl Sweep Points}$ ; 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

$119,4 \text{ dB} - 103,7 \text{ dB} = 15,7 \text{ dB}$  (Mittelwert der gesamten Gruppe) und

$119,5 \text{ dB} - 103,7 \text{ dB} = 15,8 \text{ dB}$  (Median der gesamten Gruppe).

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

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die WLAN-Ringmessung im Standby erfolgte am 13. Mai 2015 im Flur 1. OG des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem Linksys Wireless-G Access Point WAP54G-DE.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 3,0 m.

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

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

### Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

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

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

### Messgeräteeinstellungen Zero Span

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

## 9.1 WLAN im Standby, Filter Sweep

### Detector Max Peak, RBW 1 MHz

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,1 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 beträgt ohne Ausreißer +3,4 dB bzw. -2,7 dB, vom Median der Gruppe +3,9 dB bzw. -2,2 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt 1,1 dB, die niedrigste 0,1 dB.

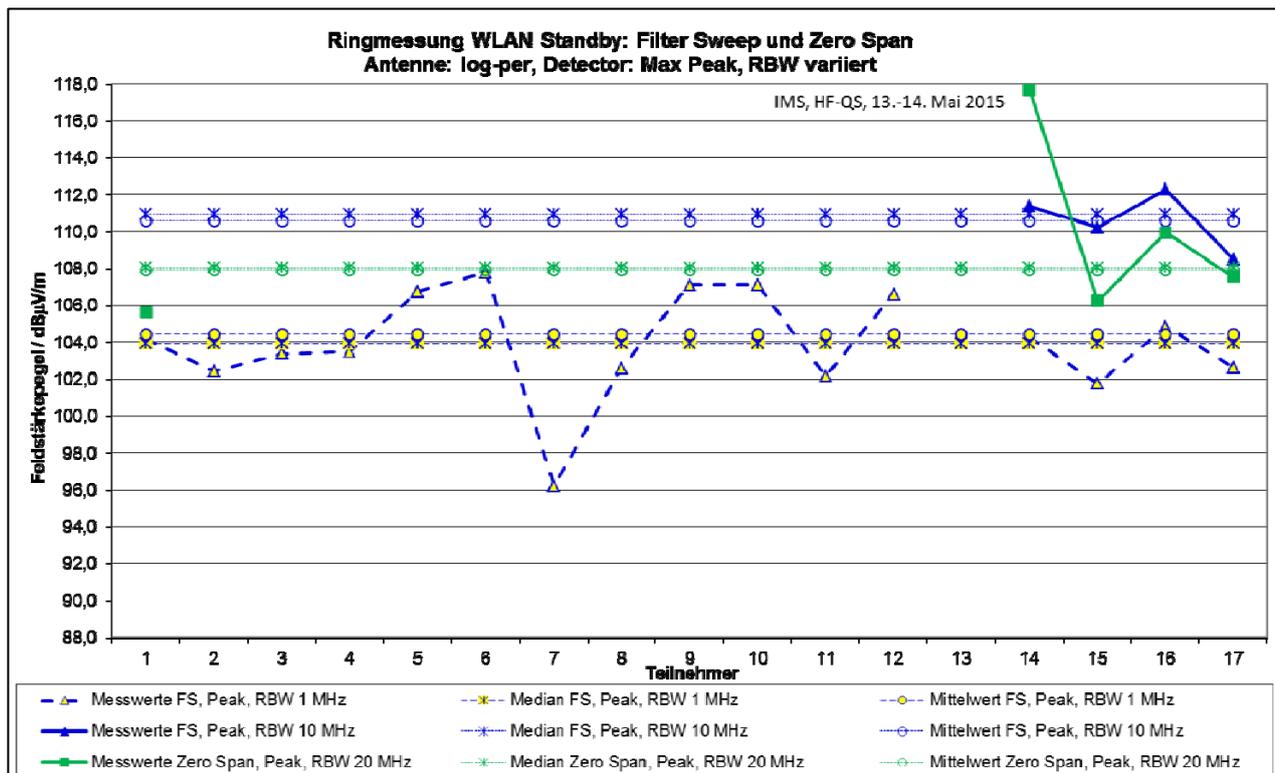
### Detector Max Peak, RBW 10 MHz

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,5 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,7 dB bzw. -2,1 dB, vom Median der Gruppe +1,4 dB bzw. -2,4 dB.

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



### Vergleich von Filter Sweep (RBW 1 MHz bzw. 10 MHz) und Zero Span (RBW 20 MHz)

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte und Mediane der Messergebnisse zusammengestellt (Messergebnisse Zero Span siehe weiter unten).

Detector Max Peak	Filter Sweep RBW 1 MHz	Filter Sweep RBW 10 MHz	Zero Span RBW 20 MHz
Mittelwert	104,4	110,6	107,9
Median	103,9	110,9	108,0

Hieraus ergeben sich folgende Unterschiede in dB:

Detector Max Peak	1.) Filter Sweep RBW 1 MHz re Filter Sweep RBW 10 MHz	2.) Filter Sweep RBW 1 MHz re Zero Span RBW 10 MHz	3.) Filter Sweep RBW 10 MHz re Zero Span RBW 10 MHz
Mittelwert	$104,4 - 110,6 = -6,2$	$104,4 - 107,9 = -3,5$	$110,6 - 107,9 = 2,7$
Median	$103,9 - 110,9 = -7,0$	$103,9 - 108,0 = -4,1$	$110,9 - 108,0 = 2,9$

Zu 1.): Die theoretische Differenz der Messergebnisse aus dem Unterschied zwischen Signalbandbreite (ca. 16 MHz) und Filterbandbreite (RBW 1 MHz) beträgt 12,2 dB (Rauschbandbreite = RBW) bzw. 11,8 dB (Rauschbandbreite =  $1,1 \cdot RBW$ ).

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.

Eine solche einfache, aber aus oben genannten Gründen nicht zulässige Bandbreiten-Hochrechnung der beim Filter Sweep verwendeten RBWs 10 MHz / 1 MHz würde theoretisch zu einer übergroßen Differenz von ca. 10 dB führen. Die tatsächlich gemessene Differenz von 6 bis 7 dB erscheint daher durchaus praxistgerecht. 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 6 bis 7 dB korrigieren.

Allerdings ist hierbei zu beachten, dass das WLAN-Standby-Signal noch breiter als 10 MHz ist (ca. 16 MHz). Von daher müsste theoretisch der Vergleich mit der Messung im Zero Span und RBW 20 MHz genauer sein.

Zu 2.) und 3.): Der Vergleich der Messwerte zeigt jedoch überraschenderweise, dass mit Bezug auf die Zero Span-Messungen mit RBW 20 MHz die Korrekturfaktoren deutlich niedriger ausfallen, nämlich nur 3,5 bis 4 dB statt 6 bis 7 dB, denn die Messergebnisse im Zero Span mit der höheren RBW von 20 MHz liegen um ca. 3 dB niedriger als die Ergebnisse im Filter Sweep mit RBW 10 MHz.

Für diesen Effekt liegt zurzeit keine Erklärung vor. Er steht außerdem im Widerspruch zu den entsprechenden Messergebnissen der IMS-Ringmessungen im Mai 2013, die in sich konsistent und plausibel sind.

### Detector RMS, RBW 1 MHz

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,2 dB auf 2,9 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 0,5 dB.

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

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

### Detector RMS, RBW 10 MHz

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 2,7 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +3,6 dB bzw. -3,1 dB, vom Median der Gruppe +4,1 dB bzw. -2,5 dB.

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

## 9.2 WLAN im Standby, Zero Span

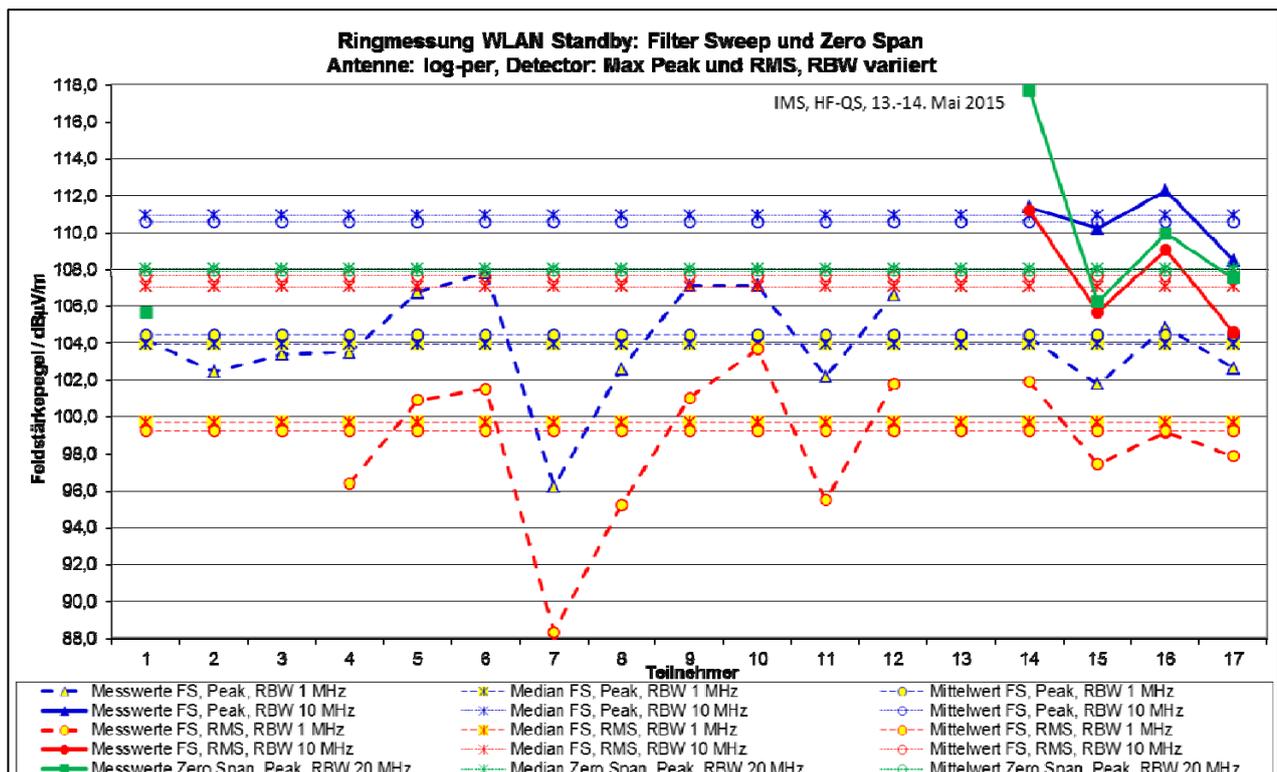
### Detector Max Peak, RBW 20 MHz

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,5 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 lediglich um 0,1 dB.

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

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



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

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die WLAN-Ringmessung erfolgte am 13. Mai 2015 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.

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

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

### Messgeräteeinstellungen Channel Power

Center Frequency:	2.412 MHz (Kanal 1)
Span:	22 MHz
Measure:	Channel Power
Channel Bandwidth:	20 MHz
Filterbandbreite RBW:	300 kHz
Videobandbreite VBW:	1 MHz
Detector:	Max Peak / RMS
Sweep Time:	100 ms (Max Peak) / 500 ms (RMS)
Trace:	Max Hold

## 10.1 Messergebnisse WLAN mit Datentransfer, Channel Power

### Detector Max Peak

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 9,1dB 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 0,4 dB.

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

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

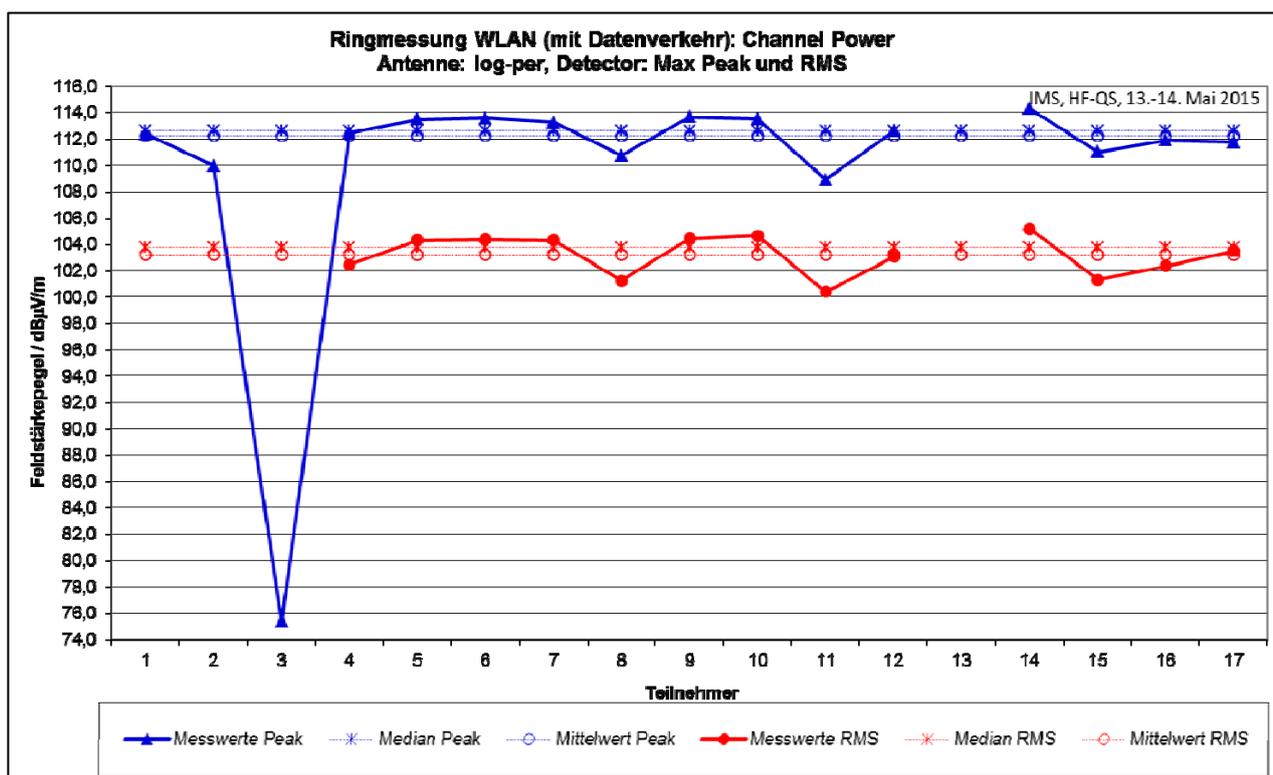
### Detector RMS

Mit der Korrektur von Teilnehmer 12 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,0 dB auf 1,5 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mit der Korrektur unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,6 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur +2,0 dB bzw. -2,8 dB, vom Median der Gruppe +1,4 dB bzw. -3,4 dB.

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



### 10.2 WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe

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

Aus dem Vergleich der Mittelwerte und Mediane der Gruppe von Peak- und RMS-Messwerten ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

Channel Power	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	112,2 – 103,2 = 9,0	112,6 – 103,9 = 8,7

Eine Bewertung ist hier nicht gut möglich, da der „echte“ Crestfaktor nicht bekannt ist. Mit 9,0 bzw. 8,7 dB liegt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor recht nahe bei 10 dB, aber doch deutlich unter 12 dB.

### 10.3 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 dBµV/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	112,4		
2	R 3131	110,0		
3	R 3131	75,4		
4	FSH 3	112,5	102,4	10,0
5	FSH 3	113,5	104,3	9,1
6	FSH 3	113,6	104,4	9,2
7	FSH 3	113,3	104,3	8,9
8	FSH 3	110,7	101,2	9,5
9	FSH 6	113,7	104,4	9,2
10	FSH 6	113,5	104,7	8,9
11	MT 8220 A	108,9	100,4	8,5
12	MT 8220 A	112,6	103,1	9,5
13	FSP 13			
14	FSL 18	114,3	105,2	9,1
15	FSL 18	111,0	101,3	9,7
16	FSL 6	111,9	102,4	9,6
17	FSL 6	111,7	103,5	8,2

Standardabweichung, Mittelwert und Median der Gruppe werden einmal mit und einmal ohne Ausreißer (o.A.) berechnet. Dabei werden Crestfaktoren unter 7,0 dB als unrealistisch betrachtet und gelten als Ausreißer. Ebenso gilt ein Crestfaktor als Ausreißer, wenn mindestens einer der Messwerte Peak bzw. RMS einen Ausreißer darstellt.

Da der einzige Ausreißer bei der Peak-Messung eines Analysators vorliegt, der keinen RMS-Detector hat und für den folglich kein Crestfaktor ermittelt werden kann, wirkt sich dieser Ausreißer nicht aus.

Mittelwert und Median aus den persönlichen Crestfaktoren liegen mit 9,2 dB nur wenige Zehntel dB höher als bei der Berechnung der Crestfaktoren aus Mittelwert und Median der Gruppe.

Zur Problematik der Bewertung gilt das oben in Kap. 10.2 Gesagte.

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	0,5
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	9,2
Median der Gruppe (o. A.):	9,2
Standardabweichung der Gruppe:	0,5
Mittelwert der Gruppe:	9,2
Median der Gruppe:	9,2

## 11 Ringmessung Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth)

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen / Messaufgaben und Lösungen

Die Ringmessung Bluetooth erfolgte am 13. Mai 2015 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem Notebook mit Anycom Bluetooth Printer Modul.

Die Teilnehmer wussten nicht, um welchen Funkdienst es sich handelt und sollten diesen selbst ermitteln.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 2 m.

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

#### Messgeräteeinstellungen

Start Frequenz: 2.400 MHz  
Stop Frequenz: 2.483,5 MHz  
Filterbandbreite RBW: siehe unten: Messaufgaben  
Videobandbreite VBW: siehe unten: Messaufgaben  
Detector: Max Peak  
Sweep Time: 500 ms  
Trace: Max Hold

#### Messaufgaben:

1. Handelt es sich um einen Dauersender oder um einen aktionsgesteuerten Sender?
2. Ermitteln Sie die Sendefrequenz.
3. Bestimmen Sie die Signalbandbreite und wählen Sie auf dieser Basis RBW und VBW für die Pegelmessung.
4. Um welchen Funkdienst handelt es sich?
5. Ermitteln Sie die charakteristischen Parameter für die Pulsung (Pulswiederholffrequenz, Impulsdauer(n) usw).
6. Ermitteln Sie die Höhe der Immission nach drei verschiedenen Messverfahren:
  - Absolutes Maximum
  - Channel Power (mit Korrekturfaktor)
  - Linearer Mittelwert

#### Lösungen zu den Messaufgaben:

1. Dauersender
2. Sendefrequenz: Spektrum von 79 MHz im 83,5 MHz breiten ISM-Band 2,4 GHz → 2.402,25 - 2.481,25 MHz, Frequency Hopping mit der Hopffrequenz 800 hops/s.
3. Signalbandbreite = 1 MHz → RBW = 1 MHz, VBW<sub>min</sub> = 1 MHz (VBW möglichst größer, z.B. 3 MHz oder noch besser 10 MHz).
4. Bluetooth
5. Pulswiederholffrequenz 800 Hz. Impulsdauer überwiegend ca. 260 µs, ab und zu einzelne, doppelt so breite Impulse.
6. Siehe nachfolgende Auswertungen.

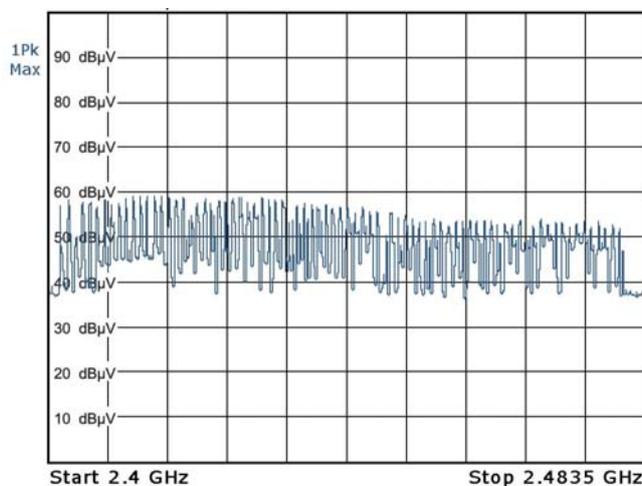
## Bluetooth-Signalcharakteristik

Bluetooth benutzt als Zugriffsverfahren Frequency Hopping, die Hopfrequenz beträgt bei dem hier eingesetzten Bluetooth-Modul 800 hops/s. Das Signal ist 1 MHz breit; bei Filter Sweep-Messungen ist daher als RBW 1 MHz zu wählen. Bluetooth belegt im Sprungverfahren 79 Kanäle. Mit Max Hold sieht das Spektrum so aus, als seien alle 79 Kanäle gleichzeitig belegt, tatsächlich wird aber immer nur auf einem Kanal gesendet. Das belegte Spektrum ist 79 MHz breit, das gesamte ISM-Band 83,5 MHz. Die „überschüssigen“  $(83,5 - 79) \text{ MHz} = 4,5 \text{ MHz}$  werden jeweils zur Hälfte (= 2,25 MHz) als Schutzabstand am Anfang und Ende des ISM-Bandes genutzt. Der von Bluetooth belegte Spektralbereich erstreckt sich somit von 2.402,25 MHz bis 2.481,25 MHz.

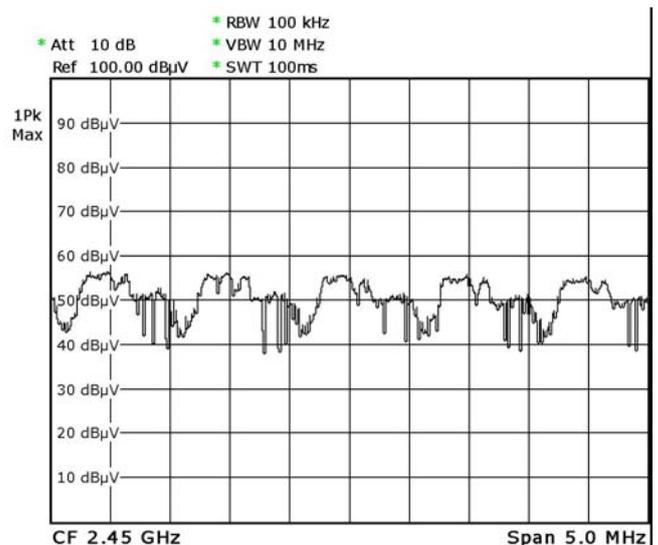
Für die Bestimmung des Signalpegels darf nicht das gesamte – durch Max Hold scheinbar – belegte Spektrum herangezogen werden, sondern – je nach Anspruch der Bewertung – entweder nur der Kanal mit dem maximalen Pegel (Messaufgabe 6: Absolutes Maximum) oder ein Mittelwert (Messaufgabe 6: Channel Power über das gesamte ISM-Band – korrigiert mit der Kanalzahl – oder „optische“ Mittelung mittels „Display Line“ am Analysator (linearer Mittelwert)). Bei der Channel Power-Messung ist zu beachten, dass aufgrund des Frequency Hopping in Verbindung mit Max Hold eine Überbewertung der Strahlungsdichte um den Faktor 79 stattfindet; das Messergebnis muss daher dementsprechend korrigiert werden. Der Korrekturfaktor berechnet sich zu  $10 \log(1 / 79) \text{ dB} = -18,98 \text{ dB}$ , leicht gerundet  $-19 \text{ dB}$ .

Im Zero Span ist die Messung der Impulsbreite möglich; sie beträgt hier meist ca. 260  $\mu\text{s}$ , ab und zu gibt es Einzelimpulse mit ca. 520  $\mu\text{s}$ . Sehr selten sind längere, komplexere Strukturen möglich.

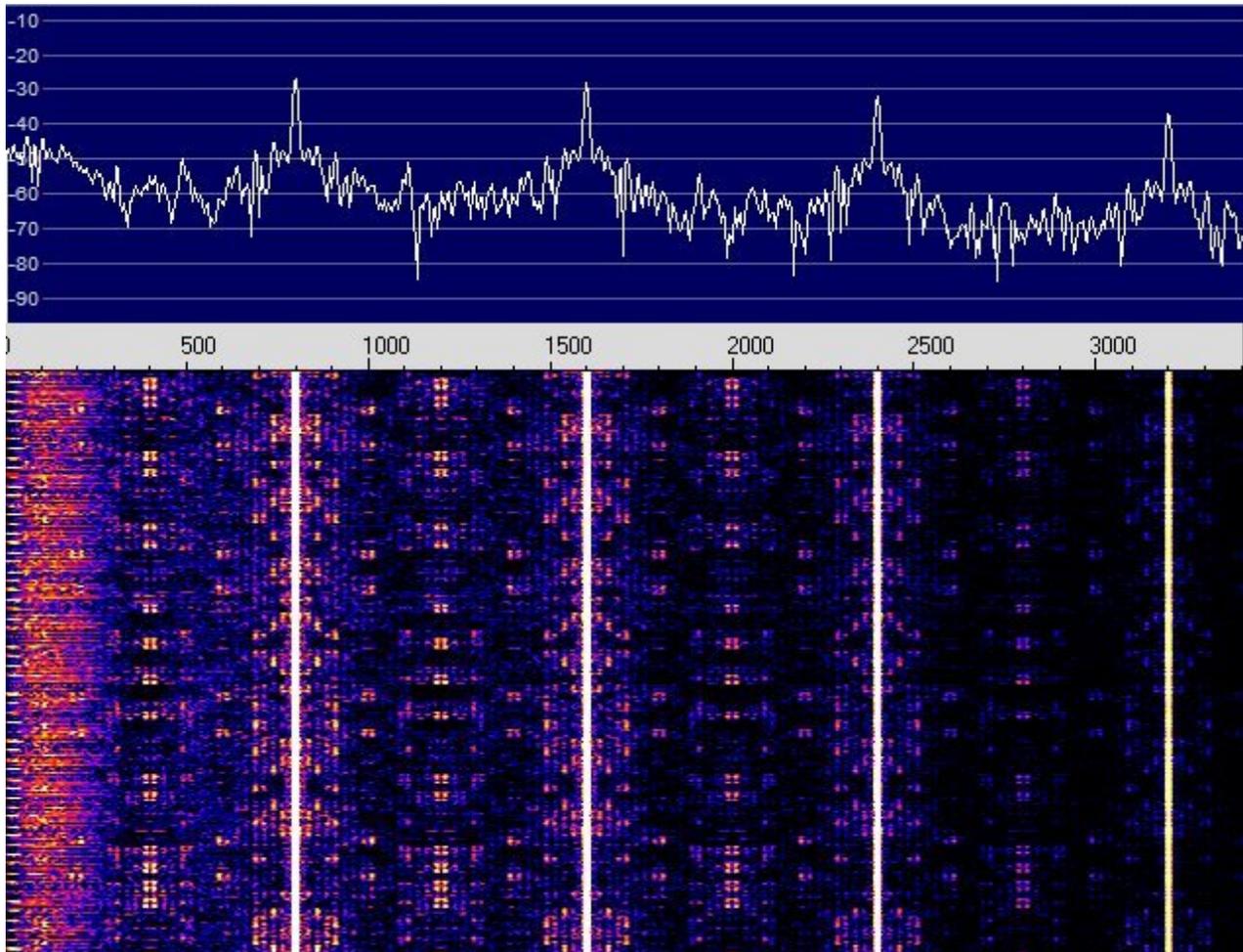
Bei einem auf Frequency Hopping basierendem Funksystem wie Bluetooth ist zur Messung der Pulswiederholfrequenz im Zero Span eine Filterbandbreite (RBW) erforderlich, die den gesamten genutzten Frequenzbereich umfasst – hier also 79 MHz, gerundet 80 MHz. Ein Analysator mit so hoher RBW im Zero Span stand keinem der Teilnehmer zur Verfügung. Mit kleinerer RBW durchgeführte Messungen zeigen notwendigerweise zufallsbedingte unregelmäßige Abstände zwischen den einzelnen Impulsen, deren momentaner Abstand neben der RBW auch von der Mittenfrequenz und dem Zeitpunkt der Messung abhängt. Je kleiner die RBW, umso niedriger ist prinzipiell die maximal messbare Pulswiederholfrequenz. Zur korrekten Messung könnte man z.B. ein HF-Breitbandmessgerät – möglichst mit „WLAN“-Filter – einsetzen und das AC-Ausgangssignal mit einem Oszilloskop analysieren. Möglich ist auch die Fast Fourier Transformation (FFT) und Spektrogrammdarstellung des AC-Ausgangssignals mit einem geeigneten Programm (z.B. Spectran).



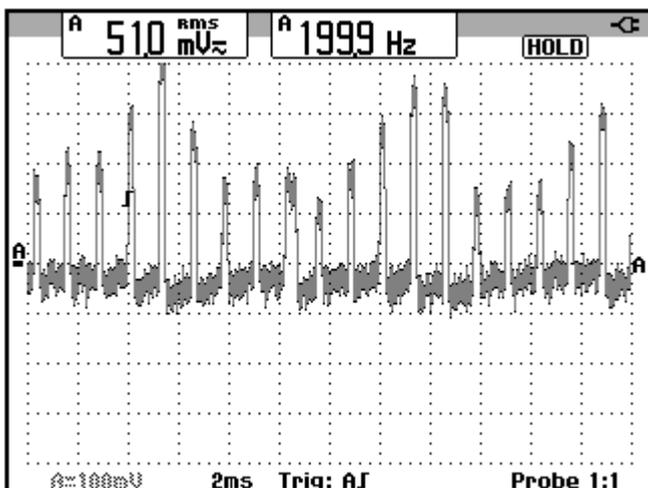
Bluetooth-Spektrum mit Frequency Hopping und Max Hold, 2.400 - 2.483,5 MHz



Die Messung mit kleiner RBW (100 kHz) und Max Hold zeigt, dass die Signalbandbreite 1 MHz beträgt (5 Kanäle im 5 MHz breiten Spektrumsausschnitt)

AC-Ausgangssignal eines HF-Breitbandmessgerätes: FFT-Spektrum und Spektrogramm

Der untere Teil zeigt das Spektrogramm des Bluetooth-Signals. Die Frequenzachse verläuft horizontal von 0 Hz bis 3.400 Hz, die Zeitachse vertikal von unten nach oben. Im oberen Teil ist das FFT-Spektrum zum letzten Zeitpunkt des Spektrogramms dargestellt. Dominant sind die diskreten Spektrallinien bei 800 Hz (Grundschiwingung) und den entsprechenden Oberschwingungen.

AC-Ausgangssignal eines HF-Breitbandmessgerätes: Anzeige mit Oszilloskop (Fluke Scopemeter 192 B)

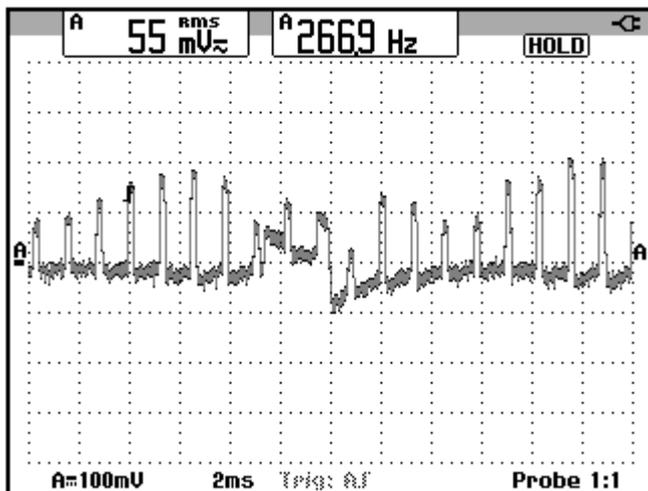
Erste Abschätzung:

19 Impulse bei 24 ms (2 ms pro Teilung der Zeitskala)

→ Impulsabstand ca. 1,26 ms.

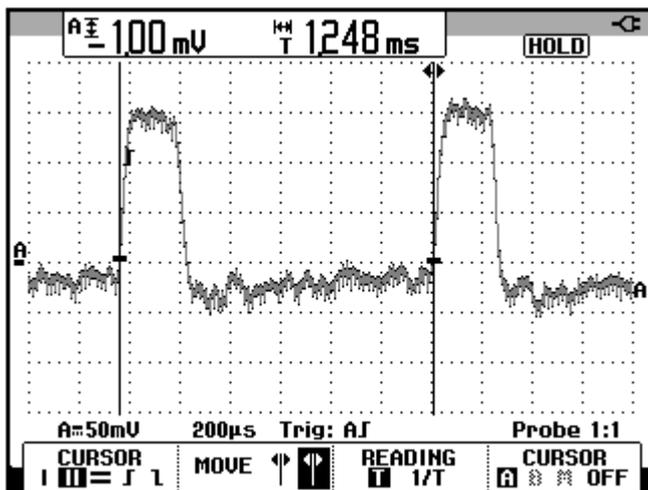
18 der 19 Impulse sind „schmal“ (die nachfolgende Analyse mit höherer Zeitauflösung zeigt eine Impulsbreite von 264  $\mu$ s und einen exakten Impulsabstand von 1,248 ms.

Der neunte Impuls, etwa in der Mitte, hat die doppelte Breite.



Sehr selten sind noch breitere, komplexere Impulsstrukturen zu finden.

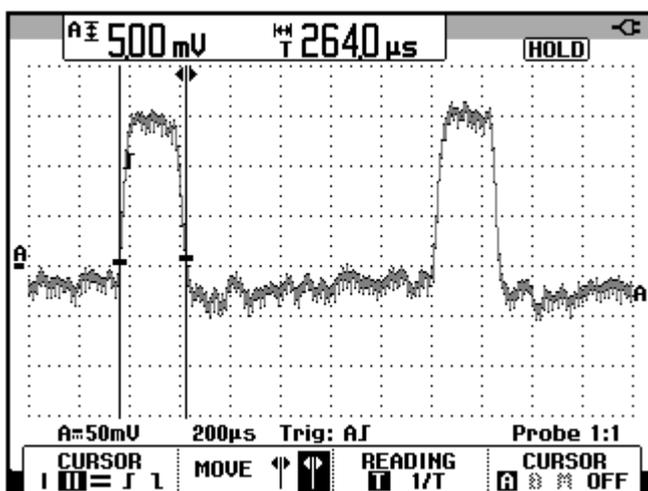
(Zeitskala: 2 ms pro Teilung)



Mit höherer Zeitaufösung gemessen:

Der Abstand zwischen zwei Impulsen beträgt 1,248 ms. Hieraus resultiert eine Pulsfrequenz von  $1/1,248 \text{ ms} = 800 \text{ Hz}$ .

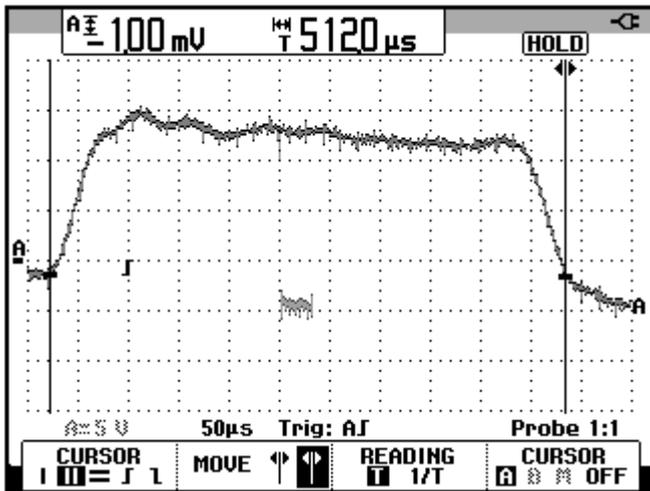
(Zeitskala: 200  $\mu\text{s}$  pro Teilung)



Mit höherer Zeitaufösung gemessen:

Die Breite eines „normalen“, schmalen Impulses beträgt ca. 264  $\mu\text{s}$ .

(Zeitskala: 200  $\mu\text{s}$  pro Teilung)



Mit höherer Zeitaufösung gemessen:  
Der breitere Impuls hat mit 512  $\mu$ s etwa die doppelte Länge.

(Zeitskala: 50  $\mu$ s pro Teilung)

## 11.1 Messergebnisse Unbekannter Funkdienst 1

### 11.1.1 Messaufgaben 1 bis 5

Teiln. ID	Spektrum-analysator	D Dauersender A Aktions-gesteuert	Sendefrequenz [MHz]	Signal-bandbreite [MHz]	Funk-Standard	Puls-wiederhol-frequenz [Hz]	Impulsdauer [ $\mu$ s]	RBW/VBW Absolutes Maximum	RBW/VBW Channel Power	RBW/VBW Linearer Mittelwert
1	R 3131	D	2.400 - 2.480	80	Bluetooth	8,9 28,6 62,5	220	1 MHz/1 MHz	300 kHz/1 MHz	1 MHz/1 MHz
2	R 3131	D	2.400 - 2.483,5	80	Bluetooth	uneinheitlich	uneinheitlich	1 MHz/1 MHz	1 MHz/1 MHz	1 MHz/1 MHz
3	R 3131	D	2.401 - 2.480	79,5	Bluetooth ?	6	700	1 MHz/1 MHz	1 MHz/1 MHz	1 MHz/1 MHz
4	FSH 3	D	2.440	1	Bluetooth					
5	FSH 3	D	2.442	80	Bluetooth			1 MHz/3 MHz	300 kHz/1 MHz	
6	FSH 3	D	2.401 - 2.481	80	WLAN / Bluetooth	29 - 50 180 - 227	250	1 MHz/3 MHz	300 kHz/3 MHz	1 MHz/3 MHz
7	FSH 3	D	24 - 24,8	80	ISM <sup>1)</sup>	78,7 714		1/3 <sup>2)</sup>	1/3 <sup>2)</sup>	
8	FSH 3	D	2.402,25 - 2.481,25	1	Bluetooth	800	260 u. 520	1 MHz/3 MHz	300 kHz/3 MHz	1 MHz/3 MHz
9	FSH 6	D	2.401 - 2.481	80	Bluetooth		250	1 MHz/3 MHz	1/3 <sup>2)</sup>	
10	FSH 6	D	2.401 - 2.481	1	Bluetooth		ca. 200	1 MHz/3 MHz	300 kHz/1 MHz	1 MHz/3 MHz
11	MT 8220 A	A	2.400 - 2.485	1	Bluetooth	50	200 - 220	1 MHz/3 MHz	100 kHz/300 kHz	
12	MT 8220 A	D	2.400 - 2.480	80		6,7 25	250	1 MHz/1 MHz	300 kHz/1 MHz	1 MHz/1 MHz
13	FSP 13									
14	FSL 18	A	2.460 - 2.480	80	Bluetooth	12,5		1/3 <sup>2)</sup>		
15	FSL 18									
16	FSL 6	D	2.402 - 2.481	1	Bluetooth		280		300/3000 <sup>2)</sup>	
17	FSL 6									

<sup>1)</sup> Die Angabe "ISM" ist zu unspezifisch, das kann neben Bluetooth auch WLAN, Babyphon, Überwachungskamera, Mikrowellenofen und anderes mehr bedeuten - allesamt unterschiedliche Funkstandards mit völlig verschiedenen Signalcharakteristiken. ISM-Bänder sind immer Sammelsurien für alle möglichen Standards.

<sup>2)</sup> Maßeinheiten fehlen: Hz?, kHz?, MHz?

### 11.1.2 Pegelmessung „Absolutes Maximum“

#### Messergebnisse mit Ausreißern

#### Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth), Absolutes Maximum

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	SBA 9113	eigene	88,22	88,44	90,30	89,0	0,9	-4,2	-4,5
2	R 3131	SBA 9113 B	367	91,10	91,20	91,40	91,2	0,1	-1,9	-2,3
3	R 3131	SBA 9113 B	eigene	87,90	89,76	88,01	88,6	0,9	-4,6	-4,9
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	95,31	95,91	96,16	95,8	0,4	2,6	2,3
5	FSH 3	SBA 9113	eigene	93,94	94,57	95,07	94,5	0,5	1,4	1,0
6	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	92,30	91,04	89,51	91,0	1,1	-2,2	-2,5
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	94,52	96,92	96,72	96,1	1,1	2,9	2,6
8	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	97,69	96,58	98,05	97,4	0,6	4,3	4,0
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	94,35	94,83	94,02	94,4	0,3	1,2	0,9
10	FSH 6	SBA 9113	eigene	97,28	95,82	95,31	96,1	0,8	3,0	2,7
11	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	92,25	91,88	93,03	92,4	0,5	-0,8	-1,1
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	91,40	90,10	90,32	90,6	0,6	-2,6	-2,9
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	95,79	95,77	95,65	95,7	0,1	2,6	2,3
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	224	90,48	91,44	92,37	91,4	0,8	-1,7	-2,1
17	FSL 6									

Standardabweichung der Gruppe:

2,9

Mittelwert der Gruppe:

93,2

Median der Gruppe:

93,5

Bemerkungen: Nr. 1: Falscher Antennenfaktor

#### Messergebnisse ohne Ausr. (o.A.)

#### Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth), Absolutes Maximum

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	SBA 9113	eigene	92,49	92,71	94,57	93,3	0,9	-0,6	-1,1
2	R 3131	SBA 9113 B	367	91,10	91,20	91,40	91,2	0,1	-2,6	-3,1
3	R 3131	SBA 9113 B	eigene	87,90	89,76	88,01	88,6	0,9	-5,3	-5,8
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	95,31	95,91	96,16	95,8	0,4	2,0	1,4
5	FSH 3	SBA 9113	eigene	93,94	94,57	95,07	94,5	0,5	0,7	0,2
6	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	92,30	91,04	89,51	91,0	1,1	-2,9	-3,4
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	94,52	96,92	96,72	96,1	1,1	2,2	1,7
8	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	97,69	96,58	98,05	97,4	0,6	3,6	3,1
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	94,35	94,83	94,02	94,4	0,3	0,6	0,0
10	FSH 6	SBA 9113	eigene	97,28	95,82	95,31	96,1	0,8	2,3	1,8
11	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	92,25	91,88	93,03	92,4	0,5	-1,5	-2,0
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	91,40	90,10	90,32	90,6	0,6	-3,2	-3,7
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	95,79	95,77	95,65	95,7	0,1	1,9	1,4
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	224	90,48	91,44	92,37	91,4	0,8	-2,4	-2,9
17	FSL 6									

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

2,3

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

93,8

Median der Gruppe (o.A.):

94,4

### 11.1.3 Pegelmessung „Channel Power“

#### Messergebnisse mit Ausreißern

#### Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth), Channel Power

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	SBA 9113	eigene	100,55	99,56	100,16	100,1	0,4	-8,8	-9,9
2	R 3131	SBA 9113 B	367	100,10	101,30	101,10	100,8	0,5	-8,0	-9,1
3	R 3131	SBA 9113 B	eigene	103,77	103,52	105,92	104,4	1,1	-4,5	-5,6
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	113,31	112,31	112,31	112,6	0,5	3,8	2,7
5	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	112,00	110,86	112,61	111,8	0,7	3,0	1,9
6	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	109,96	110,12	110,93	110,3	0,4	1,5	0,4
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	108,92	107,82	108,02	108,3	0,5	-0,6	-1,7
8	FSH 3									
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	107,45	107,75	107,05	107,4	0,3	-1,4	-2,5
10	FSH 6	SBA 9113	eigene	114,55	113,84	114,33	114,2	0,3	5,4	4,3
11	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	110,06	110,56	109,66	110,1	0,4	1,2	0,1
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	108,15	104,84	108,75	107,2	1,7	-1,6	-2,7
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	116,62	115,97	115,18	115,9	0,6	7,1	6,0
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	224	111,78	111,90	111,97	111,9	0,1	3,0	1,9
17	FSL 6									

Standardabweichung der Gruppe:

4,7

Mittelwert der Gruppe:

108,9

Median der Gruppe:

110,0

Bemerkungen: Nr. 1: Falscher Antennenfaktor

#### Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)

#### Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth), Channel Power

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131	SBA 9113	eigene	104,82	103,88	104,43	104,4	0,4	-6,1	-6,2
2	R 3131	SBA 9113 B	367	100,10	101,30	101,10	100,8	0,5	-9,6	-9,7
3	R 3131	SBA 9113 B	eigene	103,77	103,52	105,92	104,4	1,1	-6,0	-6,2
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	113,31	112,31	112,31	112,6	0,5	2,2	2,1
5	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	112,00	110,86	112,61	111,8	0,7	1,4	1,3
6	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	109,96	110,12	110,93	110,3	0,4	-0,1	-0,2
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	108,92	107,82	108,02	108,3	0,5	-2,2	-2,3
8	FSH 3									
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	107,45	107,75	107,05	107,4	0,3	-3,0	-3,1
10	FSH 6	SBA 9113	eigene	114,55	113,84	114,33	114,2	0,3	3,8	3,7
11	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	110,06	110,56	109,66	110,1	0,4	-0,3	-0,5
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	108,15	104,84	108,75	107,2	1,7	-3,2	-3,3
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	116,62	115,97	115,18	115,9	0,6	5,5	5,4
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	224	111,78	111,90	111,97	111,9	0,1	1,4	1,3
17	FSL 6									

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

2,4

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

110,4

Median der Gruppe (o.A.):

110,6

Trotz der Korrektur des Antennenfaktors bei Teilnehmer Nr. 1 bleiben seine Messergebnisse als Ausreißer bestehen, nun allerdings nicht mehr ganz so stark.

Korrigiert um -19 dB (o.A.) **Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth), Channel Power, korrigiert**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	Feldstärkepegel dBµV/m					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	R 3131	SBA 9113	eigene	85,82	84,88	85,43	85,4	0,4	-6,1	-6,2
2	R 3131	SBA 9113 B	367	81,10	82,30	82,10	81,8	0,5	-9,6	-9,7
3	R 3131	SBA 9113 B	eigene	84,77	84,52	86,92	85,4	1,1	-6,0	-6,2
4	FSH 3	USLP 9143	eigene	94,31	93,31	93,31	93,6	0,5	2,2	2,1
5	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	93,00	91,86	93,61	92,8	0,7	1,4	1,3
6	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	90,96	91,12	91,93	91,3	0,4	-0,1	-0,2
7	FSH 3	USLP 9143	eigene	89,92	88,82	89,02	89,3	0,5	-2,2	-2,3
8	FSH 3									
9	FSH 6	USLP 9143	eigene	88,45	88,75	88,05	88,4	0,3	-3,0	-3,1
10	FSH 6	SBA 9113	eigene	95,55	94,84	95,33	95,2	0,3	3,8	3,7
11	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	91,06	91,56	90,66	91,1	0,4	-0,3	-0,5
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	89,15	85,84	89,75	88,2	1,7	-3,2	-3,3
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	97,62	96,97	96,18	96,9	0,6	5,5	5,4
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	224	92,78	92,90	92,97	92,9	0,1	1,4	1,3
17	FSL 6									

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

Median der Gruppe (o. A.):

2,4
91,4
91,6

Die erforderliche Korrektur der Channel Power-Messergebnisse um -19 dB wurde von keinem Teilnehmer vorgenommen.

Mit der Korrektur ergibt sich ein mittlerer Pegel von  $110,4 \text{ dB}\mu\text{V/m} - 19 \text{ dB} = 91,4 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (Mittelwert der Gruppe) bzw.  $110,6 \text{ dB}\mu\text{V/m} - 19 \text{ dB} = 91,6 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (Median der Gruppe).

Die in der vorausgehenden Messaufgabe ermittelten Pegel des Absoluten Maximums von  $93,8 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (Mittelwert der Gruppe) bzw.  $94,4 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (Median der Gruppe) passen gut hierzu.

Es fällt auf, dass die Teilnehmer 1 bis 3 mit dem Analysatortyp R 3131 allesamt erhebliche Minderbefunde zeigen.

### 11.1.4 Pegelmessung „Linearer Mittelwert“

Da nicht dokumentiert ist, wie der Mittelwert ermittelt wurde und wegen der Uneinheitlichkeit der Messergebnisse wird hier auf die Kennzeichnung von Ausreißern verzichtet. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Messungen mit den o.a. Channel Power-Messungen, so führen nur die Messungen der Teilnehmer 2, 3 und 8 zu vergleichbaren Resultaten.

Messergebnisse

Unbekannter Funkdienst 1 (Bluetooth), Linearer Mittelwert

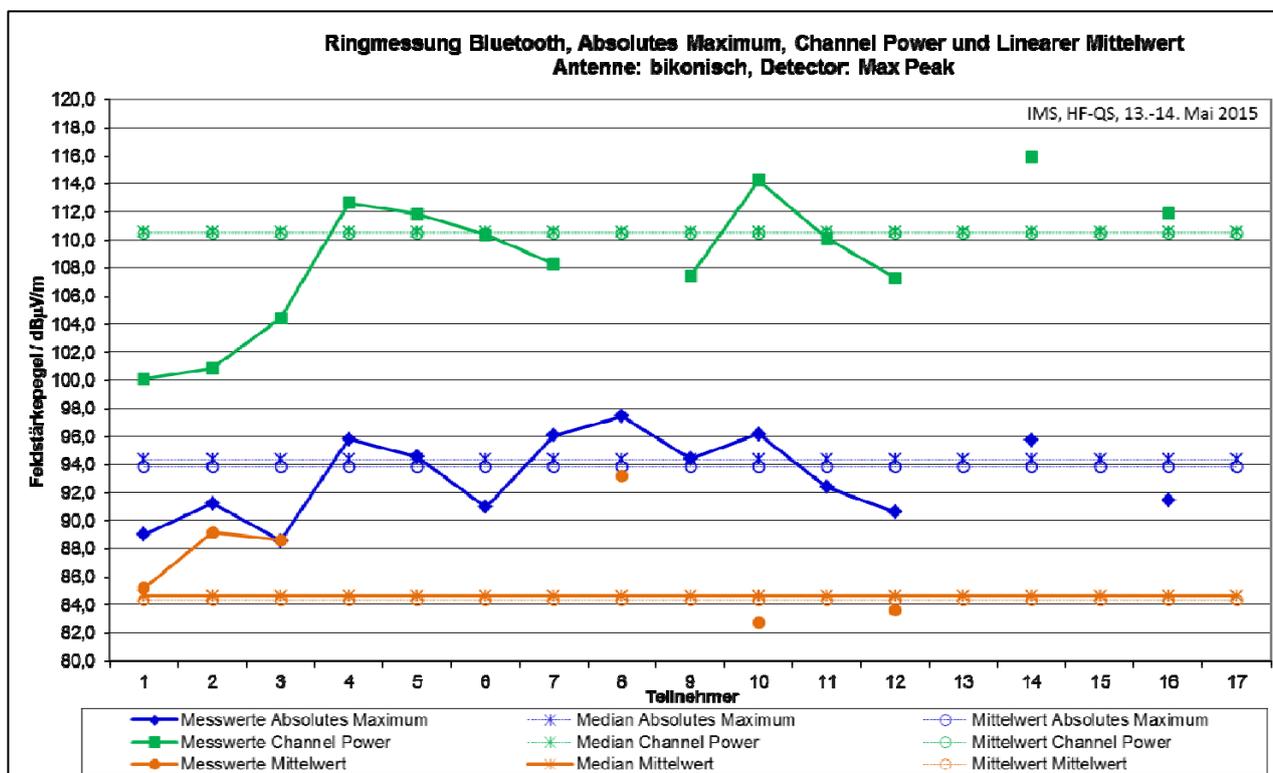
Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dBµV/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131	SBA 9113	eigene	85,26	84,44	85,86	85,2	0,6	0,8	0,6
2	R 3131	SBA 9113 B	367	89,20	88,90	89,30	89,1	0,2	4,8	4,5
3	R 3131	SBA 9113 B	eigene	88,52	88,75	88,55	88,6	0,1	4,3	4,0
4	FSH 3									
5	FSH 3									
6	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	76,86	75,87	75,97	76,2	0,4	-8,1	-8,4
7	FSH 3									
8	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	93,28	92,88	93,38	93,2	0,2	8,8	8,6
9	FSH 6									
10	FSH 6	SBA 9113	eigene	82,73	82,73	82,73	82,7	0,0	-1,6	-1,9
11	MT 8220 A									
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	84,80	83,30	82,70	83,6	0,9	-0,7	-1,0
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	75,91	75,66	76,66	76,1	0,4	-8,3	-8,5
15	FSL 18									
16	FSL 6									
17	FSL 6									

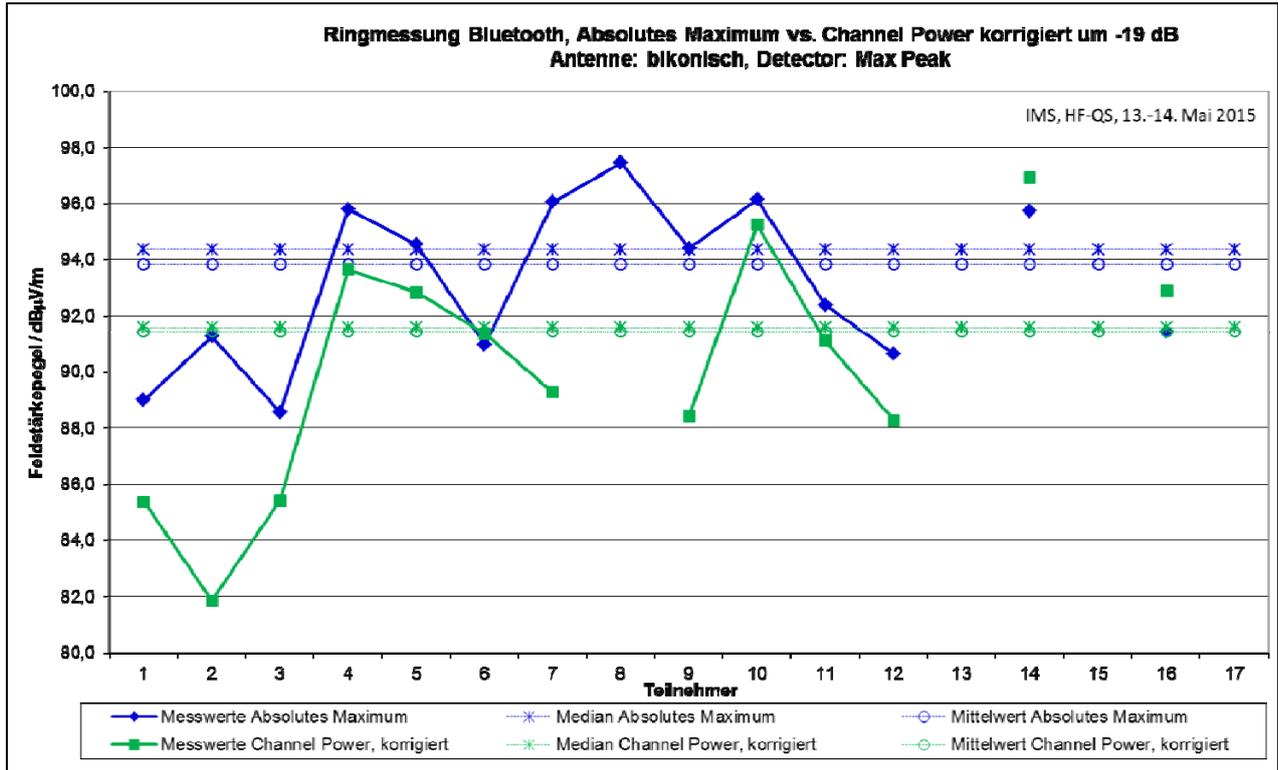
Standardabweichung der Gruppe:

Mittelwert der Gruppe:

Median der Gruppe:

5,7
84,3
84,6





## 12 Ringmessung Unbekannter Funkdienst 2 (Funkmaus/-tastatur)

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung „Unbekannter Funkdienst 2 (Funkmaus/-tastatur)“ erfolgte am 13. Mai 2015 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem Notebook mit 2,4 GHz-Funktastatur GeneralKeys (Pearl) Modell PX-4924-675.

Die Teilnehmer wussten nicht, um welchen Funkdienst es sich handelt und sollten diesen selbst ermitteln.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle war beliebig. da die Aufgabe nicht in der Messung von Pegeln bestand.

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

### Messgeräteeinstellungen

Keine vorgegeben

### Messaufgaben:

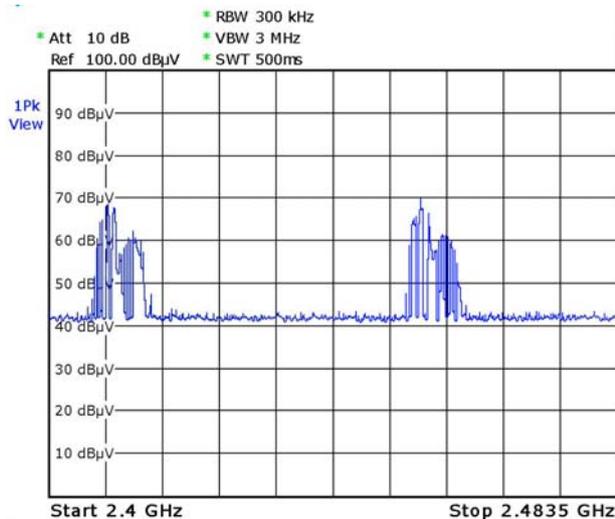
1. Handelt es sich um einen bzw. mehrere Dauersender oder um einen bzw. mehrere aktionsgesteuerte(n) Sender?
2. Ermitteln Sie die Sendefrequenz(en).
3. Bestimmen Sie die Signalbandbreite(n).
4. Um welchen Funk-Standard handelt es sich?
5. Ermitteln Sie die charakteristischen Parameter für die Pulsung (Pulswiederholffrequenz, Impulsdauer(n) usw).

### Lösungen zu den Messaufgaben:

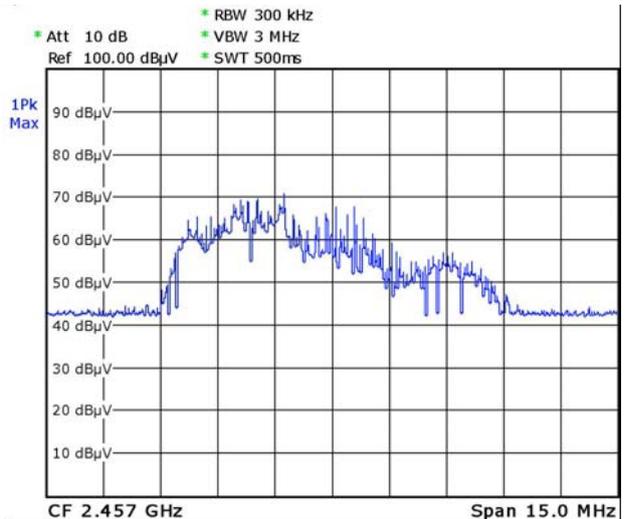
1. Aktionsgesteuert; sendet nur bei Betätigung der Tastatur und bei Bewegung der Maus, zwei Sendefrequenzen (beide für Tastatur und Maus).
2. Sendefrequenz(en): Zwei Signale im ISM-Band 2,4 GHz (2.400 - 2.483,5 MHz), Mittenfrequenzen ca. 2.410 MHz und ca. 2.460 MHz, beide Mittenfrequenzen variieren erheblich. Mit Max Hold kann nicht erkannt werden, ob beide Frequenzen gleichzeitig ausgestrahlt werden, oder wechselweise nacheinander (Frequency Hopping).
3. Signalbandbreite: Bei beiden Signalen ca. 9 MHz.
4. Es handelt sich nicht um den Bluetooth-Standard! Die beiden Signale haben auf den ersten Blick zwar Ähnlichkeit mit einem WLAN im Standby, die Signalbandbreiten sind aber deutlich kleiner und das Zeitverhalten der Impulse völlig anders als bei WLAN.
5. Pulswiederholffrequenz: Es handelt sich meist – aber nicht immer – um Doppelimpulse mit ca. 1 ms Abstand); die Pulswiederholffrequenz liegt häufig im Bereich um 30 bis 40 Hz, variiert aber erheblich; sie ist u.a. von der Geschwindigkeit abhängig, mit der man die Tasten drückt. Impulsdauer: 1. Impuls 340 µs, 2. Impuls 300 µs.

## Signalcharakteristik

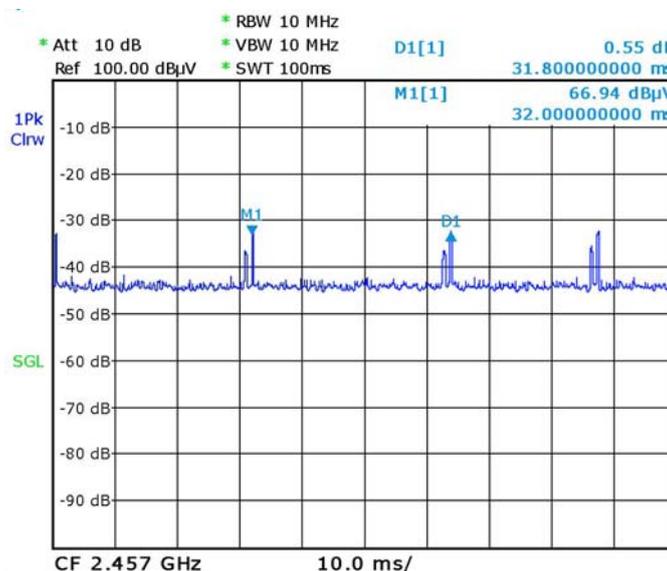
Den typischen Linienspektren nach handelt es sich um periodisch gepulste Signale auf zwei Frequenzen. Die Mittenfrequenzen liegen bei ca. 2.410 MHz bzw. ca. 2.460 MHz und variieren sehr stark. Die Signalbandbreite beträgt jeweils ca. 9 MHz. Bei Auslösung einer Aktivität (nur Mausbewegung, nur Tastaturdruck oder beides) wird häufig – aber nicht immer – auf beiden Frequenzen gesendet.



Spektrum 2.400 - 2.483,5 MHz



Spektrum 2.457 MHz ± 7,5 MHz



Zero Span mit Delta Marker D1[1]  
zur Messung des Impulsabstandes;  
es ist ersichtlich, dass die Impulsabstände nicht gleichmäßig sind.

## 12.1 Messergebnisse Unbekannter Funkdienst 2

### 12.1.1 Messaufgaben 1 bis 5

Teiln. ID	Spektrum-analysator	D Dauersender A Aktions-gesteuert	e ein Sender m mehrere Sender	Sendefrequenz(en) [MHz]	Signal-bandbreite(n) [MHz]	Funk-Standard	Puls-wiederhol-frequenz(en) [Hz]	Impulsdauer(n) [µs]
1	R 3131	A	m	2.425,4 / 2.466	8,6 / 8,6	Bluetooth		300
2	R 3131	A	m	2.428 / 2.456	8 / 7,3	Bluetooth	25 / 33	1.000 / 2 x 500
3	R 3131	A	m	2.440 / 2.465	9,7 / 7,6	WLAN? Bluetooth?	max. 1.000 / 120	10.000 / 4.000
4	FSH 3	A	m	2.440 / 2.466	8 / 8	Bluetooth/MS		
5	FSH 3	A	m	2.428 / 2.478	9 / 8	kein WLAN, kein Bluetooth	33,3	
6	FSH 3	A	m	2.425,6 + 2.465,6 / 2.454	8 / 8,8	kein Bluetooth	8, 25, 32, 56	333 u. 433
7	FSH 3	A	m	2.420 / 2.476	9 / 7	ISM <sup>1)</sup>		567 u. 400 / 200 u. 900
8	FSH 3	A	m	2.410 / 2.460	9 / 9	unbekannt	unterschiedlich	340 / 300
9	FSH 6	A	m	2.425,6 / 2.476,3	8,33 / 8	Bluetooth		
10	FSH 6	A	m	2.442 / 2.467	9 / 9	ZigBee		
11	MT 8220 A	A	m	2.425 / 2.454	9 / 9	ZigBee ?		
12	MT 8220 A	A	m	2.427 / 2.454	10 / 10	eigener Standard		300
13	FSP 13							
14	FSL 18	A	m	2.430 - 2.445 / 2.459 - 2.470	15 / 12,4	ZigBee		400
15	FSL 18							
16	FSL 6	A	m	2.428 / 2.478			unterschiedlich	340 / 300
17	FSL 6							

<sup>1)</sup> Die Angabe "ISM" ist zu unspezifisch, das kann neben Bluetooth auch WLAN, Babyphon, Überwachungskamera, Mikrowellenofen und anderes mehr bedeuten - allesamt unterschiedliche Funkstandards mit völlig verschiedenen Signalcharakteristiken. ISM-Bänder (von denen es etliche in unterschiedlichen Frequenzbereichen gibt) sind keine funktechnischen Standards, sondern Sammelsurien aller möglichen Standards für industrielle (I), wissenschaftliche (scientific, S) und medizinische (M) Anwendungen.

## 13 Ringmessung GSM-R

### Randbedingungen / Messgeräteinstellungen

Die Ringmessung GSM-R wurde am 14. Mai 2015 im großen Schulungsraum des Schulungszentrums der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt.

Die Basisstation GSM-R befindet sich im Bereich des Bahnhofs Iphofen in ca. 430 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: 920 ... 925 MHz (Span 5 MHz)  
Ausgewertet wird aus dem gesamten Spektralbereich nur der Pegel des dominierenden Organisationskanals bei 923,0 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 100 kHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak

Sweep Time: 100 ms

Trace: Max Hold

### 13.1 Messergebnisse GSM-R

#### Detector Max Peak

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,2 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,4 dB bzw. -1,9 dB, vom Median der Gruppe +1,3 dB bzw. -2,0 dB.

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

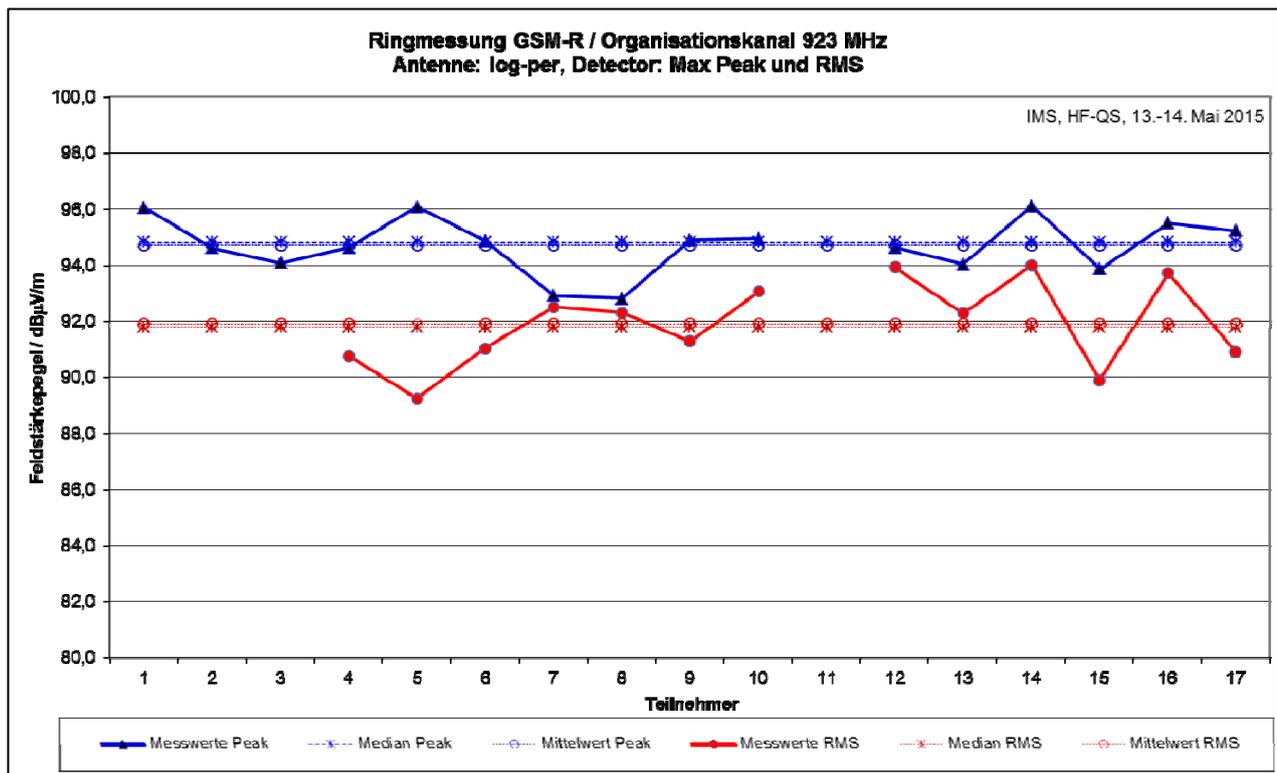
#### Detector RMS

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,7 dB.

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

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

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,8 dB, die niedrigste 0,3 dB.



Die Mittelwerte von Peak- und RMS-Detector unterscheiden sich um  $(94.7 - 91.9) \text{ dB} = 2.8 \text{ dB}$ , die Mediane um  $(94.8 - 91.8) \text{ dB} = 3.0 \text{ dB}$ . Diese Differenzen sind unerwartet hoch, da es sich theoretisch um ein Signal mit einem Crestfaktor von ca. 0 dB handelt.

## 14 Ringmessung GSM 900 (EDGE)

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen für die Ringmessung „GSM 900 (EDGE) Organisationskanal 932,0 MHz“

Die Ringmessung GSM 900 wurde am 14. Mai 2015 im großen Schulungsraum des Schulungszentrums der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt.

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 932,0 MHz mittels Markeranzeige.
Filterbandbreite RBW:	100 kHz
Videobandbreite VBW:	1 MHz
Detector:	Max Peak/RMS
Sweep Time:	100 ms (Max Peak) / 500 ms (RMS)
Trace:	Max Hold

Der Organisationskanal 932,0 MHz kann in der Betriebsart EDGE operieren. Die Messungen sollen daher nur durchgeführt werden, wenn EDGE-Signale aktiv sind.

## 14.1 Messergebnisse Organisationskanal 932,0 MHz (EDGE)

### Detector Max Peak

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,6 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,5 dB bzw. -3,6 dB, vom Median der Gruppe +1,2 dB bzw. -3,9 dB.

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

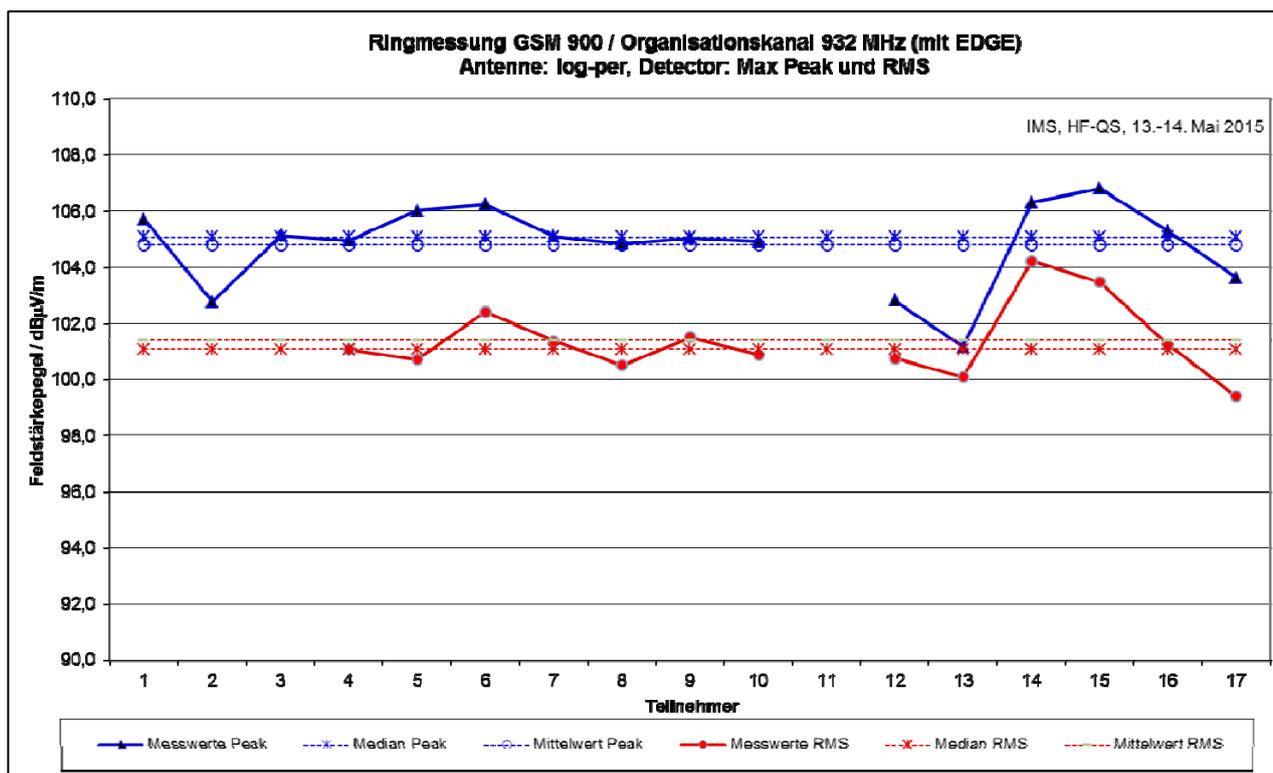
### Detector RMS

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,3 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +2,8 dB bzw. -2,0 dB, vom Median der Gruppe +3,2 dB bzw. -1,7 dB.

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



Die Mittelwerte von Peak- und RMS-Detector unterscheiden sich um  $(104,8 - 101,4) \text{ dB} = 3,4 \text{ dB}$ , die Mediane um  $(105,1 - 101,1) \text{ dB} = 4,0 \text{ dB}$ . Diese Differenzen entsprechen der Erwartung, da EDGE-Signale theoretisch einen Crestfaktor von ca. 3 dB aufweisen.

## 14.2 Identifikation der Organisationskanäle GSM 900 und Reihenfolge der drei stärksten

Die Identifikation der Organisationskanäle wurde am 14. Mai 2015 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Direkt gegenüber dem Schulungszentrum befinden sich in ca. 200 m Entfernung GSM900-Mobilfunksendeanlagen, die im Bereich der Siloanlagen der REA-Gips-Aufbereitung der Fa. Knauf montiert sind.

Die Teilnehmer sollten die Organisationskanäle (BCCHs) identifizieren und die drei stärksten in der Reihenfolge der Immissionshöhe ermitteln.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse wiedergegeben.

BCCH-Frequenz [MHz]	Teilnehmer-ID																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
921,4							X	X	X							X	
922,0							X	X	X							X	
923,0	X	X			X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	
925,6								X								X	
926,2										X					X	X	
926,75									X								
926,8								X								X	
927,8								X							X	X	
928,6															X		
928,2			X				X	X		X						X	
928,9			X														
929,0	X			X	X	X	X	X		X		X	X	?	X	X	
931,6															X		
932,0	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2		2	2	2	2	2	
932,58									X								
932,6	X		X	X	X	X	X	X		X		X		X		X	
933,0															X		
933,4										X							
933,8	X		X	X		X	X	X		X		X		X	X	X	
933,86									X								
934,2	X		X	X		X		X	X	X		X		X	X	X	
934,3							X										
934,8	X		X				X	X		X		X			X	X	
935,8	3		X	3	3	3		3		3		3a		X	3	3	
935,9		3															
936,0													3		X		
936,2	X		3	X	X	X	3	X	3	X		3b		3	X	X	
937,8								X									X
938,4	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
939,2				X													X
942,1		1															
942,2	1		2	1	1	1	1	1	2	1		1	1	1	1	1	
944,4			X														X
949,2	X		X	X				X					X				X
949,6								X									X
952,2			X	X		X	X	X		X		X	X	X	X	X	
952,3									X								
952,4	X				X												
953,0						X											
956,6			X			X		X		X		X		X	X	X	
956,73									X								
957,0	X																
958,4												X					
958,6			X	X		X	X	X		X		X	X	X	X	X	
958,71									X								
958,8					X												
959,0	X																

Methode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Max Hold / AVG		X					X		X				X				
Max H. / Min H.					X				X			X					X
5 MHz Span	X		X	X	X	X	X	X		X					X		
Zero Span				X			X							X			
Sonstiges				X <sup>1)</sup>													

<sup>1)</sup> Akustische Kontrolle im Zero Span

Kein Organisationskanal

Nicht gültige Frequenz (nicht im 200 kHz-Raster)

## 15 Ringmessung LTE 800 mit Hochrechnung auf Vollast

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung LTE 800 wurde am 14. Mai 2015 im großen Schulungsraum des Schulungszentrums der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt.

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).

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 / 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

## 15.1 Messergebnisse LTE 800, Filter Sweep

### Detector: Max Peak

Ohne Ausreißer und mit Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,8 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 und mit der Korrektur nur mehr um 0,4 dB statt 1,5 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur und ohne Ausreißer +2,3 dB bzw. -3,4 dB, vom Median der Gruppe +1,9 bzw. -3,8 dB.

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,2 dB, die niedrigste 0,1 dB.

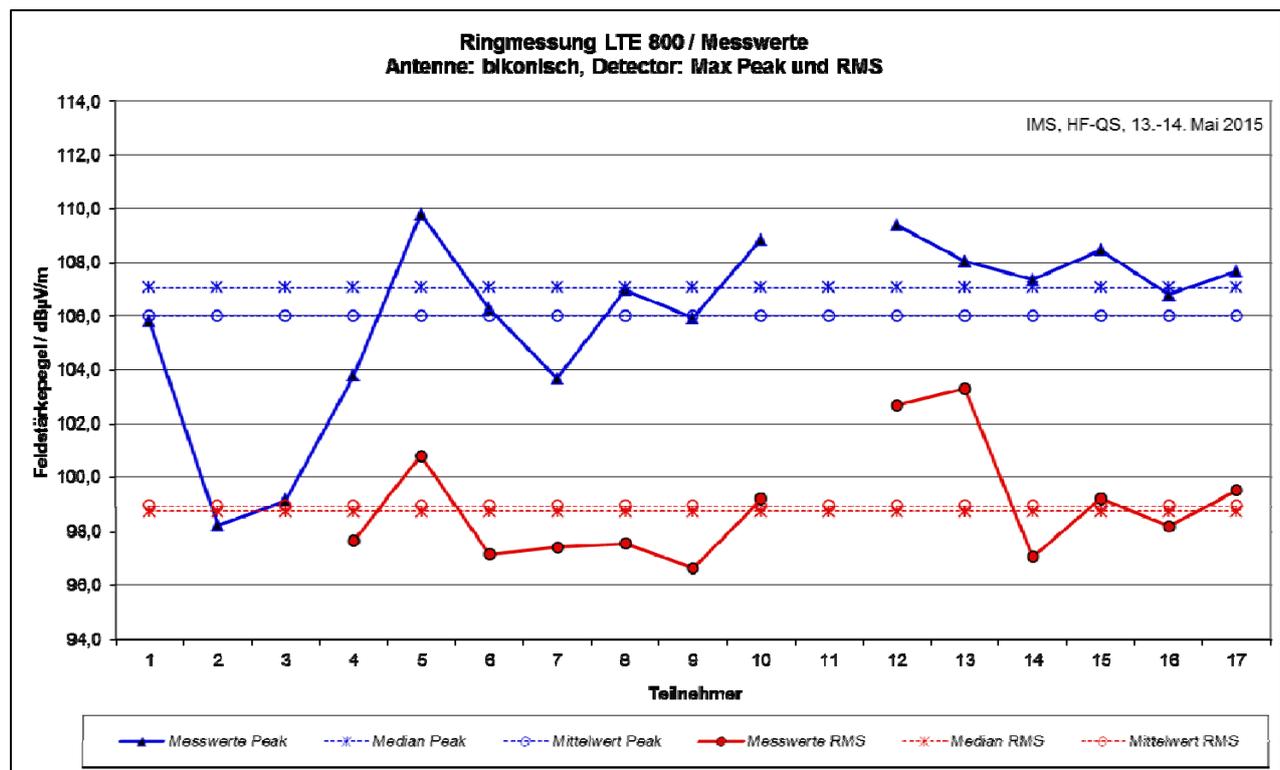
### Detector: RMS

Mit der Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,0 dB auf 2,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich mit der Korrektur um 0,2 dB statt 0,1 dB.

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

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,9 dB, die niedrigste 0,2 dB.



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

### 15.2 Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe

Aus dem Vergleich der Mittelwerte und Mediane der Gruppe von Peak- und RMS-Messwerten ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

Filter Sweep	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	106,0 – 98,9 = 7,1	107,1 – 98,7 = 8,4

Mit 7,1 bzw. 8,4 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus als der für LTE typische Crestfaktor von ca. 10 dB.

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

### 15.3 Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, 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	R 3131	105,8		
2	R 3131	98,2		
3	R 3131	99,1		
4	FSH 3	103,8	97,7	6,1
5	FSH 3	109,8	100,8	9,0
6	FSH 3	106,3	97,1	9,1
7	FSH 3	103,7	97,4	6,3
8	FSH 3	107,0	97,5	9,4
9	FSH 6	105,9	96,6	9,3
10	FSH 6	108,8	99,2	9,6
11	MT 8220 A			
12	MT 8220 A	109,4	102,7	6,7
13	FSP 13	108,0	103,3	4,7
14	FSL 18	107,4	97,0	10,3
15	FSL 18	108,5	99,2	9,2
16	FSL 6	106,8	98,2	8,6
17	FSL 6	107,7	99,5	8,2

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	1,6
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	8,2
Median der Gruppe (o. A.):	9,0
Standardabweichung der Gruppe:	0,6
Mittelwert der Gruppe:	9,2
Median der Gruppe:	9,2

Standardabweichung, Mittelwert und Median der Gruppe werden einmal mit und einmal ohne Ausreißer (o.A.) berechnet. Dabei werden Crestfaktoren unter 7,0 dB als unrealistisch betrachtet und gelten als Ausreißer. Ebenso gilt ein Crestfaktor als Ausreißer, wenn mindestens einer der Messwerte Peak bzw. RMS einen Ausreißer darstellt

Die Crestfaktoren ohne Ausreißer liegen mit gut 9 dB recht nahe bei den anzusetzenden 10 dB und ca. 1 bis 2 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren. Wenn Ausreißer nach unten vorhanden sind – was hier durchweg der Fall ist – so ist dieser Effekt eine zwingende Folge.

Man beachte, dass es auch bei den niedrigen und hier als Ausreißer klassifizierten Crestfaktoren keine Ausreißer bei den einzelnen Messwerten gibt.

Besonders auffällig ist der sehr niedrige persönliche Crestfaktor von Teilnehmer 13.

### 15.4 Hochrechnung auf Vollast LTE 800, Filter Sweep

Als Hochrechnungsfaktor ist hier anzusetzen:

- a) Bandbreitenhochrechnung mit Rauschbandbreite = RBW  
 $10 \log (9 \text{ MHz} / 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 9,54 \text{ dB}$  zur Bandbreitenhochrechnung auf 9 MHz Signalbandbreite plus 3 dB für Antennen-MIMO = **12,54 dB**.
- b) Bandbreitenhochrechnung mit Rauschbandbreite =  $1,1 \cdot \text{RBW}$   
 $10 \log (9 \text{ MHz} / 1,1 \cdot 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 9,13 \text{ dB}$  zur Bandbreitenhochrechnung auf 9 MHz Signalbandbreite plus 3 dB für Antennen-MIMO = **12,13 dB**.

Ein Boost der Synchronisationskanäle ist nicht festzustellen.

Korrekt sind daher Hochrechnungen mit 12,54 und 12,13 dB sowie gerundet mit 12,5 und 12,1 dB.

#### Detector: Max Peak

Die Teilnehmer haben die nachfolgend aufgeführten Hochrechnungsfaktoren verwendet, wie aus der Pegeldifferenz der Messwerte und der hochgerechneten Werte ermittelt werden kann.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Hochrechnungsfaktor dB				
		1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.
1	R 3131	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
2	R 3131	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
3	R 3131	14,71	14,71	14,71	14,71	0,0
4	FSH 3	14,50	14,50	14,50	14,50	0,0
5	FSH 3	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
6	FSH 3	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
7	FSH 3	13,10	12,10	12,10	12,43	0,5
8	FSH 3	12,50	12,50	12,50	12,50	0,0
9	FSH 6	12,10	12,10	10,10	11,43	0,9
10	FSH 6	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
11	MT 8220 A					
12	MT 8220 A	12,50	12,50	12,50	12,50	0,0
13	FSP 13	12,08	12,07	12,06	12,07	0,0
14	FSL 18	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
15	FSL 18	12,13	12,13	12,13	12,13	0,0
16	FSL 6	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
17	FSL 6					

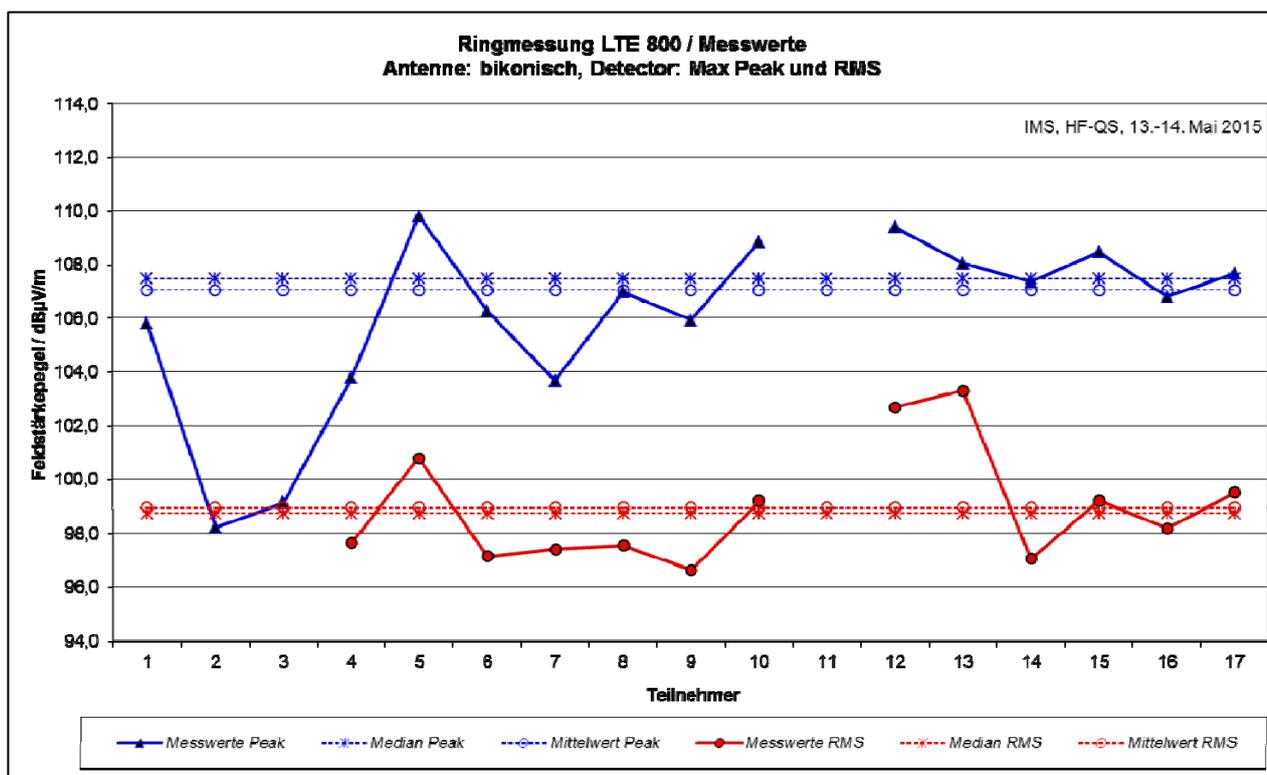
Mit der Farbe  hinterlegte Hochrechnungsfaktoren stellen zwar keine große Abweichung vom korrekten Wert dar, es ist aber zu hinterfragen, wie diese Abweichungen zustande kommen, zumal sie auch beim selben Teilnehmer von Messung zu Messung unterschiedlich sein können.

### Detector: RMS

Die Teilnehmer haben die nachfolgend aufgeführten Hochrechnungsfaktoren verwendet, wie aus der Pegeldifferenz der Messwerte und der hochgerechneten Werte ermittelt werden kann.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Hochrechnungsfaktor				
		dB			persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.
		1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.		
1	R 3131					
2	R 3131					
3	R 3131					
4	FSH 3	14,50	14,50	14,50	14,50	0,0
5	FSH 3	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
6	FSH 3	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
7	FSH 3	12,08	12,10	12,10	12,09	0,0
8	FSH 3	12,50	12,50	12,50	12,50	0,0
9	FSH 6	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
10	FSH 6	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
11	MT 8220 A					
12	MT 8220 A	12,50	12,50	12,50	12,50	0,0
13	FSP 13	12,02	12,08	12,11	12,07	0,0
14	FSL 18	12,10	11,74	12,10	11,98	0,2
15	FSL 18	12,13	12,13	12,13	12,13	0,0
16	FSL 6	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
17	FSL 6					

Mit der Farbe  hinterlegte Hochrechnungsfaktoren stellen zwar keine große Abweichung vom korrekten Wert dar, es ist aber zu hinterfragen, wie diese Abweichungen zustande kommen, zumal sie auch beim selben Teilnehmer von Messung zu Messung unterschiedlich sein können.



## 16 Ringmessung LTE 1815 mit Hochrechnung auf Vollast

### Randbedingungen / Messgeräteinstellungen

Die Ringmessung LTE 800 wurde am 14. Mai 2015 im großen Schulungsraum des Schulungszentrums der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt.

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 LTE-Signals betrug 1.815 MHz, die Signalbandbreite 18 MHz (Kanalbandbreite 20 MHz).

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

### Messgeräteinstellungen Filter Sweep

Start Frequency: 1.800 MHz

Stop Frequency: 1.830 MHz

Ausgewertet wird aus dem Spektralbereich der maximale Pegel des Frequenzblocks bei der Mittenfrequenz 1.815 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 1 MHz

Videobandbreite VBW: 1 MHz

Detector: Max Peak / 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

## 16.1 Messergebnisse LTE 1815, Filter Sweep, RBW 1 MHz

### Detector: Max Peak

Ohne Ausreißer und mit der Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,7 dB auf 1,7 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 und mit der Korrektur nur mehr um 0,5 dB statt 0,8 dB.

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

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,8 dB, die niedrigste 0,1 dB.

### Detector: RMS

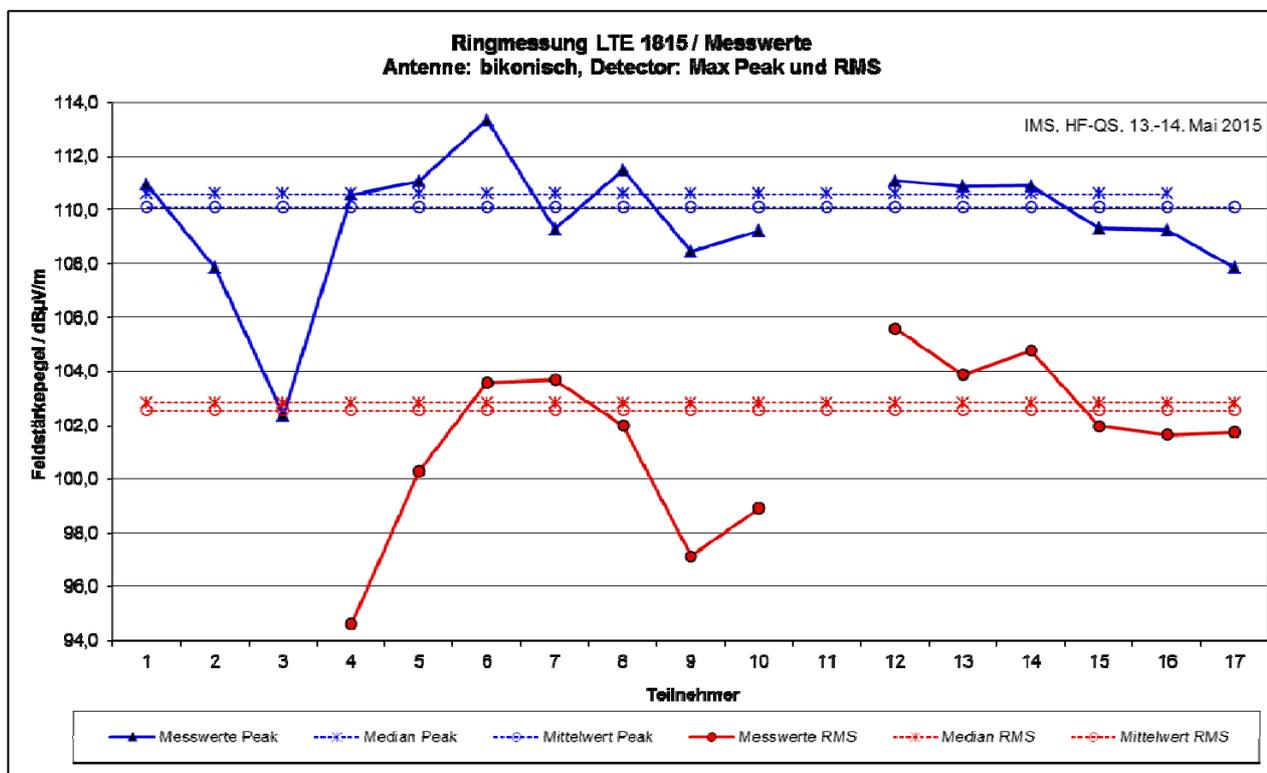
Auch nach der Korrektur von Teilnehmer 4 stellen seine Messwerte noch Ausreißer dar. Hier muss zusätzlich noch ein anderer Fehler vorliegen.

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,3 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 nur mehr um 0,3 dB statt 1,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +3,0 dB bzw. -3,6 dB, vom Median der Gruppe +2,8 bzw. -3,9 dB.

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



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

Aus dem Vergleich der Mittelwerte und Mediane der Gruppe von Peak- und RMS-Messwerten ergeben sich die folgenden gemessenen Crestfaktoren.

	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	110,1 – 102,5 = 7,6	110,6 – 102,8 = 7,8

Mit 7,6 bzw. 7,8 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus als der für LTE typische Crestfaktor von ca. 10 dB.

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

## 16.3 Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, 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	R 3131	110,9		
2	R 3131	107,8		
3	R 3131	102,4		
4	FSH 3	110,6	94,6	16,0
5	FSH 3	111,1	100,3	10,8
6	FSH 3	113,3	103,6	9,8
7	FSH 3	109,3	103,7	5,6
8	FSH 3	111,5	102,0	9,5
9	FSH 6	108,5	97,1	11,3
10	FSH 6	109,2	98,9	10,3
11	MT 8220 A			
12	MT 8220 A	111,1	105,6	5,5
13	FSP 13	110,9	103,9	7,0
14	FSL 18	110,9	104,8	6,1
15	FSL 18	109,3	102,0	7,3
16	FSL 6	109,2	101,6	7,6
17	FSL 6	107,8	101,7	6,1

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

2,9

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

8,7

Median der Gruppe (o. A.):

7,6

Standardabweichung der Gruppe:

1,4

Mittelwert der Gruppe:

8,9

Median der Gruppe:

9,5

Standardabweichung, Mittelwert und Median der Gruppe werden einmal mit und einmal ohne Ausreißer (o.A.) berechnet. Dabei werden Crestfaktoren unter 7,0 dB als unrealistisch betrachtet und gelten als Ausreißer. Ebenso gilt ein Crestfaktor als Ausreißer, wenn mindestens einer der Messwerte Peak bzw. RMS einen Ausreißer darstellt

Die Crestfaktoren ohne Ausreißer liegen mit ca. 9 dB recht nahe bei den anzusetzenden 10 dB und gut 2 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

Auch hier gibt es überwiegend Ausreißer des Crestfaktors nach unten. Bei den beiden Ausreißern nach oben (Teilnehmer 4 und 9) stellen schon die RMS-Messwerte deutliche Ausreißer nach unten dar. Dies gilt näherungsweise auch für Teilnehmer 10.

Knapp noch „ungeschoren“ bleibt hier Teilnehmer 13, der so gerade eben die 7,0dB-Marke erreicht.

## 16.4 Hochrechnung auf Volllast LTE 1815, Filter Sweep

Als Hochrechnungsfaktor ist hier anzusetzen:

- a) Bandbreitenhochrechnung mit Rauschbandbreite = RBW  
 $10 \log (18 \text{ MHz} / 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 12,55 \text{ dB}$  zur Bandbreitenhochrechnung auf 18 MHz Signalbandbreite plus 3 dB für Antennen-MIMO = **15,55 dB**.
- b) Bandbreitenhochrechnung mit Rauschbandbreite =  $1,1 \cdot \text{RBW}$   
 $10 \log (18 \text{ MHz} / 1,1 \cdot 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 12,14 \text{ dB}$  zur Bandbreitenhochrechnung auf 18 MHz Signalbandbreite plus 3 dB für Antennen-MIMO = **15,14 dB**.

Ein Boost der Synchronisationskanäle ist nicht festzustellen.

Korrekt sind daher Hochrechnungen mit 15,55 dB und 15,14 dB sowie gerundet mit 15,5 dB und 15,1 dB.

### Detector: Max Peak

Die Teilnehmer haben die nachfolgend aufgeführten Hochrechnungsfaktoren verwendet, wie aus der Pegeldifferenz der Messwerte und der hochgerechneten Werte ermittelt werden kann.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Hochrechnungsfaktor dB				
		1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.
1	R 3131	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
2	R 3131	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
3	R 3131	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
4	FSH 3	17,50	17,50	17,50	17,50	0,0
5	FSH 3	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
6	FSH 3	9,10	12,10	12,10	11,10	1,4
7	FSH 3	15,10	15,60	15,10	15,27	0,2
8	FSH 3	15,50	15,50	15,50	15,50	0,0
9	FSH 6	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
10	FSH 6	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
11	MT 8220 A					
12	MT 8220 A	15,50	15,50	15,50	15,50	0,0
13	FSP 13	14,40	14,50	14,49	14,46	0,0
14	FSL 18	15,04	15,10	15,00	15,05	0,0
15	FSL 18	15,14	15,14	15,14	15,14	0,0
16	FSL 6	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
17	FSL 6					

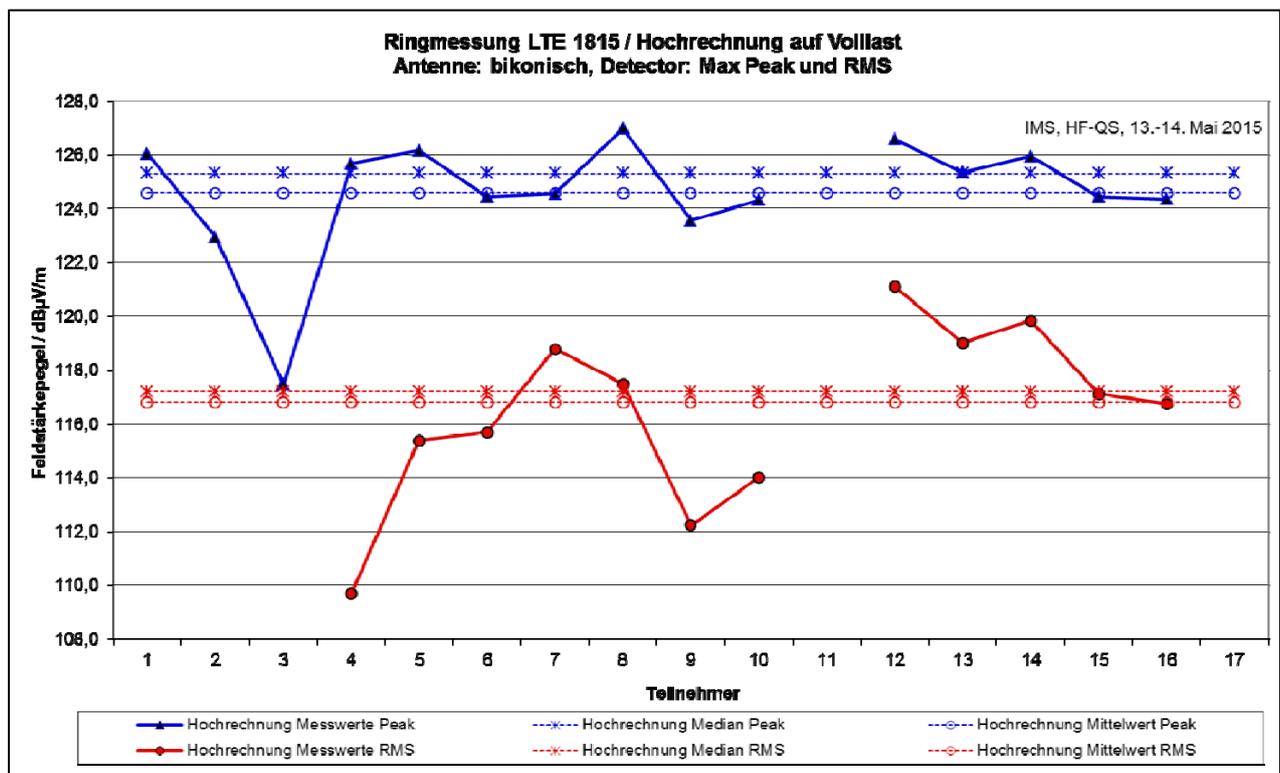
Mit der Farbe   hinterlegte Hochrechnungsfaktoren stellen zwar keine große Abweichung vom korrekten Wert dar, es ist aber zu hinterfragen, wie diese Abweichungen zustande kommen, zumal sie auch beim selben Teilnehmer von Messung zu Messung unterschiedlich sein können.

**Detector: RMS**

Die Teilnehmer haben die nachfolgend aufgeführten Hochrechnungsfaktoren verwendet, wie aus der Pegeldifferenz der Messwerte und der hochgerechneten Werte ermittelt werden kann.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Hochrechnungsfaktor				
		dB			persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.
		1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.		
1	R 3131					
2	R 3131					
3	R 3131					
4	FSH 3	17,50	17,50	17,50	17,50	0,0
5	FSH 3	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
6	FSH 3	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
7	FSH 3	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
8	FSH 3	15,50	15,50	15,50	15,50	0,0
9	FSH 6	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
10	FSH 6	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
11	MT 8220 A					
12	MT 8220 A	15,50	15,50	15,50	15,50	0,0
13	FSP 13	15,17	15,07	15,17	15,14	0,0
14	FSL 18	15,10	14,98	15,10	15,06	0,1
15	FSL 18	15,14	15,14	15,14	15,14	0,0
16	FSL 6	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
17	FSL 6					

Mit der Farbe  hinterlegte Hochrechnungsfaktoren stellen zwar keine große Abweichung vom korrekten Wert dar, es ist aber zu hinterfragen, wie diese Abweichungen zustande kommen, zumal sie auch beim selben Teilnehmer von Messung zu Messung unterschiedlich sein können.



## 17 Ringmessung UMTS FDD

### Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die UMTS-Ringmessung wurde am 14. Mai 2015 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 Vollaustattung) 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 Filter Sweep

Spektralbereich: 2.110 ... 2.170 MHz  
Ausgewertet wird aus dem gesamten Spektralbereich nur der maximale Pegel um 2.122,8 MHz mittels Markeranzeige.

Filterbandbreite RBW: 1 MHz  
Videobandbreite VBW: 1 MHz  
Detector: Max Peak / RMS  
Sweep Time: 100 ms (Max Peak) / 500 ms (RMS)  
Trace: Max Hold

#### Messgeräteeinstellungen Channel Power

Center Frequency: 2.122,8 MHz  
Span: 5 MHz  
Measure: Channel Power  
Channel Bandwidth: 4 MHz  
Filterbandbreite RBW: 30 kHz  
Videobandbreite VBW: 300 kHz  
Detector: Max Peak / RMS  
Sweep Time: 100 ms (Max Peak) / 500 ms (RMS)  
Trace: Max Hold

#### Messgeräteeinstellungen Codeselektive Messung

Center Frequency: 2.122,8 MHz  
Detector: RMS  
Pilotkanal: CPICH

## 17.1 Messergebnisse UMTS Filter Sweep, RBW 1 MHz

### Detector: Max Peak

Ohne Ausreißer und mit der Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,6 dB auf 1,8 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 und mit der Korrektur nur mehr um 0,2 dB statt 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur und ohne Ausreißer +2,8 dB bzw. – 4,4 dB, vom Median der Gruppe +3,0 bzw. – 4,3 dB.

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,3 dB, die niedrigste 0,1 dB.

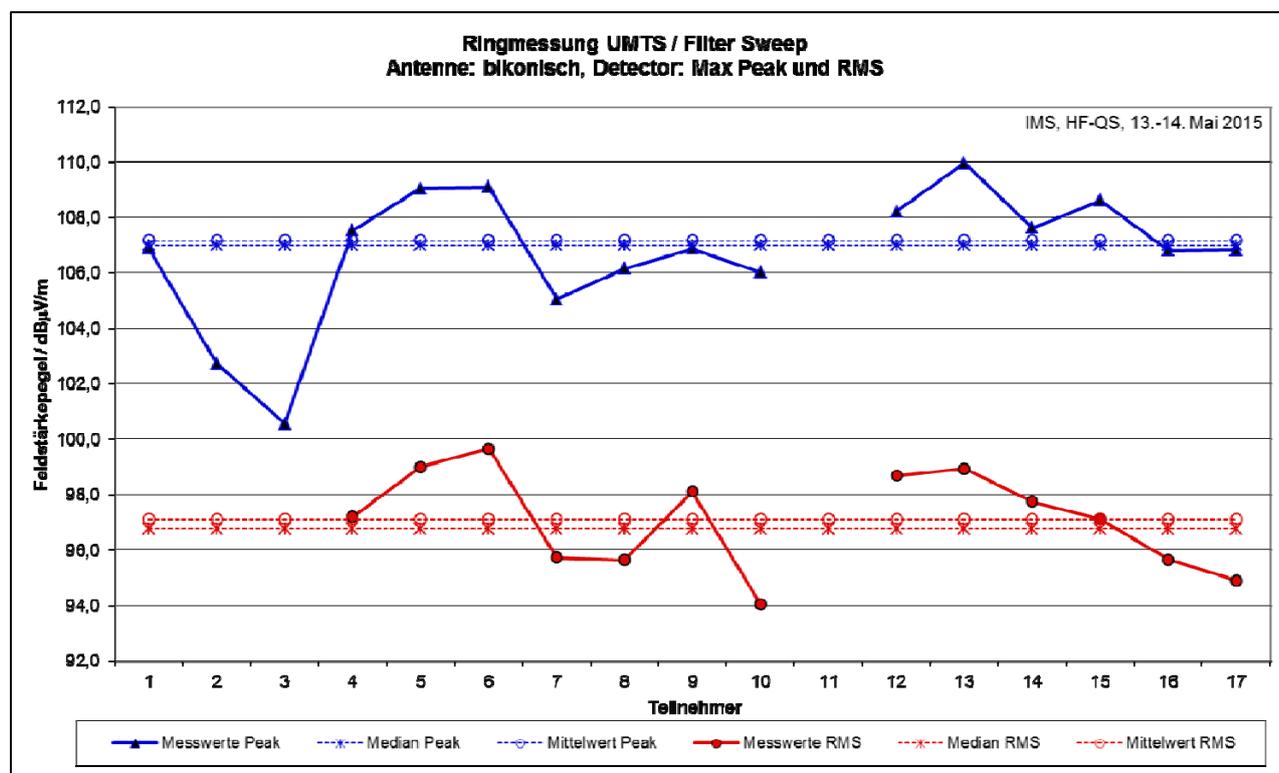
### Detector: RMS

Mit der Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,4 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 mit der Korrektur um 0,3 dB statt 0,0 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur +2,6 dB bzw. –3,1 dB, vom Median der Gruppe +2,9 bzw. –2,7 dB.

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 3,1 dB, die niedrigste 0,1 dB.



## 17.2 Messergebnisse UMTS Channel Power

### Detector: Max Peak

Ohne Ausreißer und mit der Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,6 dB auf 1,8 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 und mit der Korrektur nur mehr um 0,3 dB statt 1,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur und ohne Ausreißer +3,0 dB bzw. -4,0 dB, vom Median der Gruppe +2,7 bzw. -4,2 dB.

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,6 dB, die niedrigste 0,1 dB.

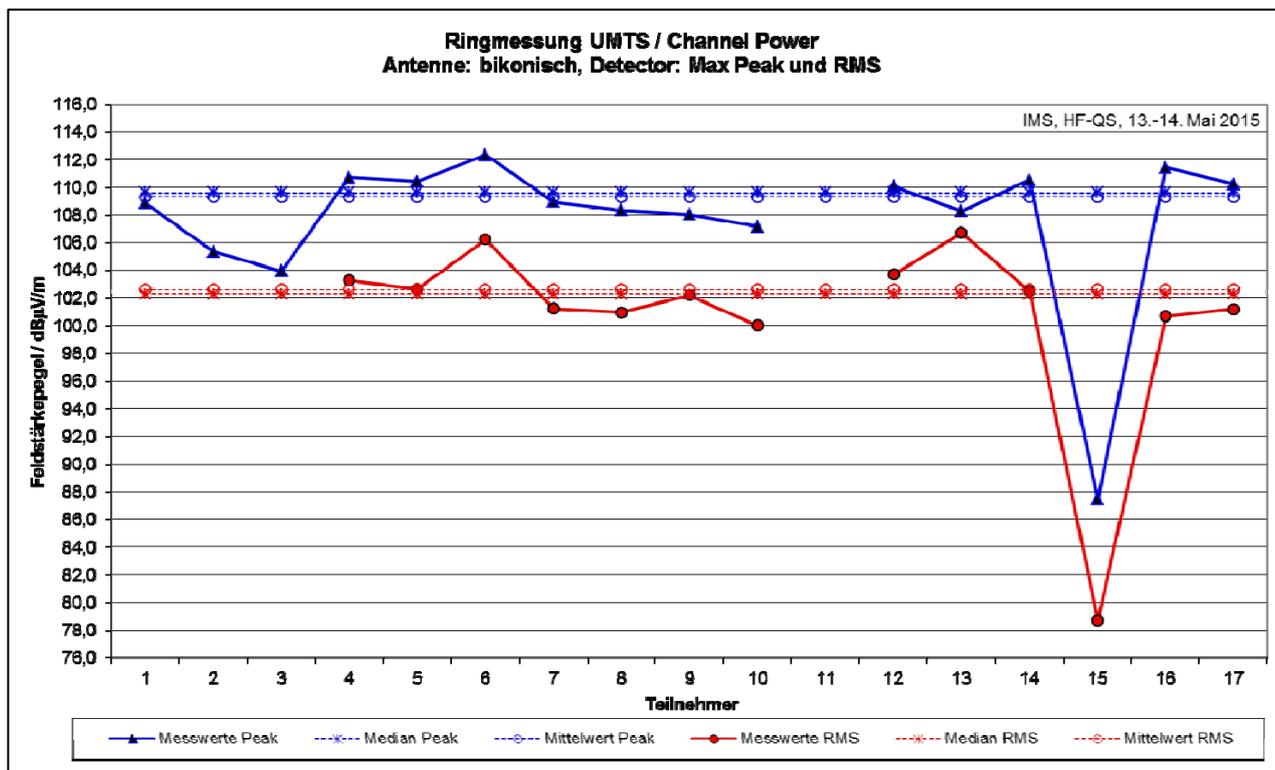
### Detector: RMS

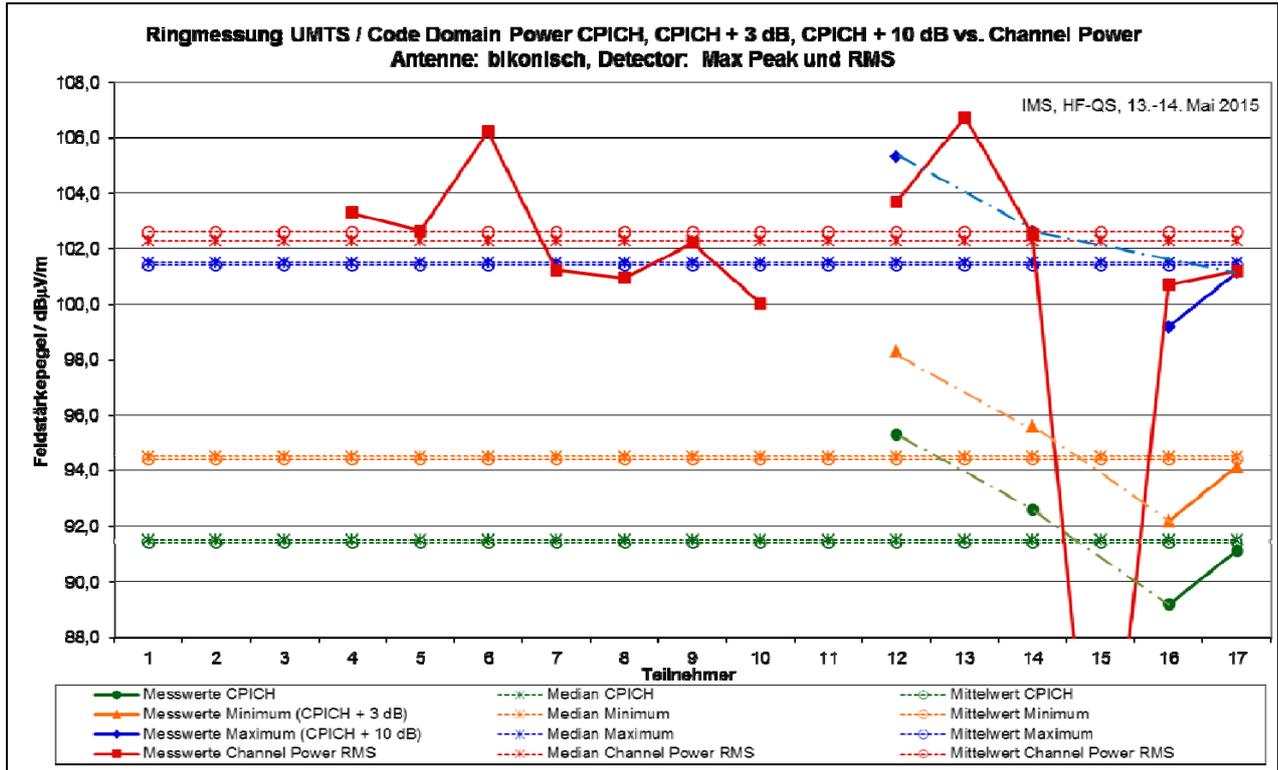
Ohne Ausreißer und mit Korrektur von Teilnehmer 4 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 6,6 dB auf 2,0 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer und mit der Korrektur nur mehr um 0,3 dB statt 1,0 dB.

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

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,6 dB, die niedrigste 0,1 dB.





### 17.3 Gemessene Crestfaktoren, 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.

Filter Sweep	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	$107,2 - 97,1 = 10,1$	$107,0 - 96,8 = 10,2$

Mit 10,1 bzw. 10,2 dB liegt der mittels Filter Sweep über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor recht nahe an dem Crestfaktor des Sendesignals von 10,9 dB (Abweichung 0,8 bzw. 0,7 dB).

Channel Power	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	$109,3 - 102,6 = 6,7$	$109,6 - 102,3 = 7,3$

Mit 6,7 bzw. 7,3 dB fällt der mittels Channel Power über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus (ca. 3 dB) als der Crestfaktor des Sendesignals.

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

### 17.4 Gemessene Crestfaktoren, 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.

Standardabweichung, Mittelwert und Median der Gruppe werden einmal mit und einmal ohne Ausreißer (o.A.) berechnet. Dabei werden Crestfaktoren unter 7,0 dB als unrealistisch betrachtet und gelten als Ausreißer. Ebenso gilt ein Crestfaktor als Ausreißer, wenn mindestens einer der Messwerte Peak bzw. RMS einen Ausreißer darstellt.

## Filter Sweep

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	106,9		
2	R 3131	102,7		
3	R 3131	100,6		
4	FSH 3	107,5	97,2	10,3
5	FSH 3	109,1	99,0	10,1
6	FSH 3	109,1	99,7	9,4
7	FSH 3	105,1	95,7	9,3
8	FSH 3	106,2	95,6	10,5
9	FSH 6	106,9	98,1	8,8
10	FSH 6	106,0	94,1	12,0
11	MT 8220 A			
12	MT 8220 A	108,2	98,7	9,5
13	FSP 13	110,0	98,9	11,0
14	FSL 18	107,6	97,7	9,9
15	FSL 18	108,6	97,1	11,5
16	FSL 6	106,8	95,6	11,2
17	FSL 6	106,8	94,9	11,9

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	1,0
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	10,4
Median der Gruppe (o. A.):	10,3

Hier gibt es keine Ausreißer.

Die Crestfaktoren entsprechen mit im Mittel gut 10 dB den anzusetzenden 10 dB und sind nahezu identisch mit den aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

## Channel Power

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	108,9		
2	R 3131	105,4		
3	R 3131	103,9		
4	FSH 3	110,7	103,3	7,4
5	FSH 3	110,4	102,6	7,8
6	FSH 3	112,3	106,2	6,1
7	FSH 3	108,9	101,2	7,7
8	FSH 3	108,4	100,9	7,4
9	FSH 6	108,0	102,2	5,8
10	FSH 6	107,2	100,0	7,1
11	MT 8220 A			
12	MT 8220 A	110,1	103,7	6,4
13	FSP 13	108,3	106,7	1,5
14	FSL 18	110,5	102,5	8,0
15	FSL 18	87,5	78,7	8,7
16	FSL 6	111,4	100,7	10,8
17	FSL 6	110,2	101,2	9,0

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	1,1
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	8,2
Median der Gruppe (o. A.):	7,7

Standardabweichung der Gruppe:	2,1
Mittelwert der Gruppe:	7,2
Median der Gruppe:	7,4

Die Crestfaktoren ohne Ausreißer liegen mit ca. 8 dB um etwa 2 dB unter den anzusetzenden 10 dB; sie sind ca. 1 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren. Wenn Ausreißer nach unten vorhanden sind – was hier durchweg der Fall ist – so ist dieser Effekt eine zwingende Folge.

Man beachte, dass es auch bei den niedrigen und hier als Ausreißer klassifizierten Crestfaktoren nur einen Ausreißer bei den einzelnen Messwerten gibt (Teilnehmer 15).

Besonders auffällig ist der extrem niedrige persönliche Crestfaktor von Teilnehmer 13; obwohl beide Messwerte keine Ausreißer darstellen.

Betrachtet man einmal alle Crestfaktor-Vergleiche dieser Ringmessungen gemeinsam, so scheint es, dass die Channel Power-Messungen eher dazu neigen, zu kleine Crestfaktoren zu ermitteln als die Filter Sweep-Messungen. Ursache hierfür dürfte ein zu großer RMS-Wert sein und nicht ein zu kleiner Peak-Wert. Möglicherweise wird der RMS-Wert der Channel Power-Messung zu hoch, wenn die Messdauer groß ist. Erfahrungsgemäß steigt bei Channel Power Messungen mit RMS-Detector der Messwert mit der Messdauer immer noch ein bisschen weiter an.

## 17.5 UMTS Codeselektive Messung CPICH

### CPICH, RMS

#### Messergebnisse

#### UMTS, Codepower CPICH, RMS

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB $\mu$ V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.		
1	R 3131									
2	R 3131									
3	R 3131									
4	FSH 3									
5	FSH 3									
6	FSH 3									
7	FSH 3									
8	FSH 3									
9	FSH 6									
10	FSH 6									
11	MT 8220 A									
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	95,30			95,3	0,0	3,9	3,8
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	92,92	91,89	93,01	92,6	0,5	1,2	1,1
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	89,35	89,10	89,11	89,2	0,1	-2,2	-2,3
17	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	91,50	91,50	90,40	91,1	0,5	-0,3	-0,4

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,9

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

91,4

Median der Gruppe (o.A.):

91,5

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,9 dB.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +3,9 dB bzw. -2,2 dB, vom Median der Gruppe +3,8 dB bzw. -2,3 dB.

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

### 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.

**Hochrechnung: CPICH + 3 dB, RMS**

**UMTS, Codepower CPICH + 3 dB, RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB <sub>μ</sub> V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131									
2	R 3131									
3	R 3131									
4	FSH 3									
5	FSH 3									
6	FSH 3									
7	FSH 3									
8	FSH 3									
9	FSH 6									
10	FSH 6									
11	MT 8220 A									
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	<b>98,30</b>			<b>98,3</b>	0,0	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	<b>95,92</b>	<b>94,89</b>	<b>96,01</b>	<b>95,6</b>	0,5	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	<b>92,35</b>	<b>92,10</b>	<b>92,11</b>	<b>92,2</b>	0,1	<b>-2,2</b>	<b>-2,3</b>
17	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	<b>94,50</b>	<b>94,50</b>	<b>93,40</b>	<b>94,1</b>	0,5	<b>-0,3</b>	<b>-0,4</b>

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):	1,9
Mittelwert der Gruppe (o.A.):	94,4
Median der Gruppe (o.A.):	94,5

**Hochrechnung: CPICH + 10 dB, RMS**

**UMTS, Codepower CPICH + 10 dB, RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB <sub>μ</sub> V/m					Abweichung persönl. MW vom MW der Gruppe	Abweichung persönl. MW vom Median der Gruppe
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.		
1	R 3131									
2	R 3131									
3	R 3131									
4	FSH 3									
5	FSH 3									
6	FSH 3									
7	FSH 3									
8	FSH 3									
9	FSH 6									
10	FSH 6									
11	MT 8220 A									
12	MT 8220 A	SBA 9113 B	eigene	<b>105,30</b>			<b>105,3</b>	0,0	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>
13	FSP 13									
14	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	<b>102,92</b>	<b>101,89</b>	<b>103,01</b>	<b>102,6</b>	0,5	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>
15	FSL 18									
16	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	<b>99,35</b>	<b>99,10</b>	<b>99,11</b>	<b>99,2</b>	0,1	<b>-2,2</b>	<b>-2,3</b>
17	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	<b>101,50</b>	<b>101,50</b>	<b>100,40</b>	<b>101,1</b>	0,5	<b>-0,3</b>	<b>-0,4</b>

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):	1,9
Mittelwert der Gruppe (o.A.):	101,4
Median der Gruppe (o.A.):	101,5

### **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 Volllast. 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  $(102,6 - (91,4 + 10)) \text{ dB} = 1,2 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $(102,3 - (91,5 + 10)) \text{ dB} = 0,8 \text{ dB}$  (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 ( $-10 \text{ dB}$ ) 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.

### **17.6 Vergleich von Filter Sweep (RBW 1 MHz) und Channel Power-Messung**

Die Filter Sweep-Messung erfolgte mit einer RBW von 1 MHz, welche deutlich kleiner als die UMTS-Signalbandbreite von 3,84 MHz ist. Hierbei erfolgt eine deutliche Unterbewertung des Pegels in Höhe von

- a)  $10 \log (3,84 \text{ MHz} / 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 5,8 \text{ dB}$  bzw.
- b)  $10 \log (3,84 \text{ MHz} / 1,1 \cdot 1 \text{ MHz}) \text{ dB} = 5,4 \text{ dB}$

Im Fall a) ist die Rauschbandbreite des Filters gleich der RBW gesetzt, im Fall b) beträgt die Rauschbandbreite das 1,1-Fache der RBW. In der Literatur sind beide Angaben zu finden.

#### **Detector Max Peak**

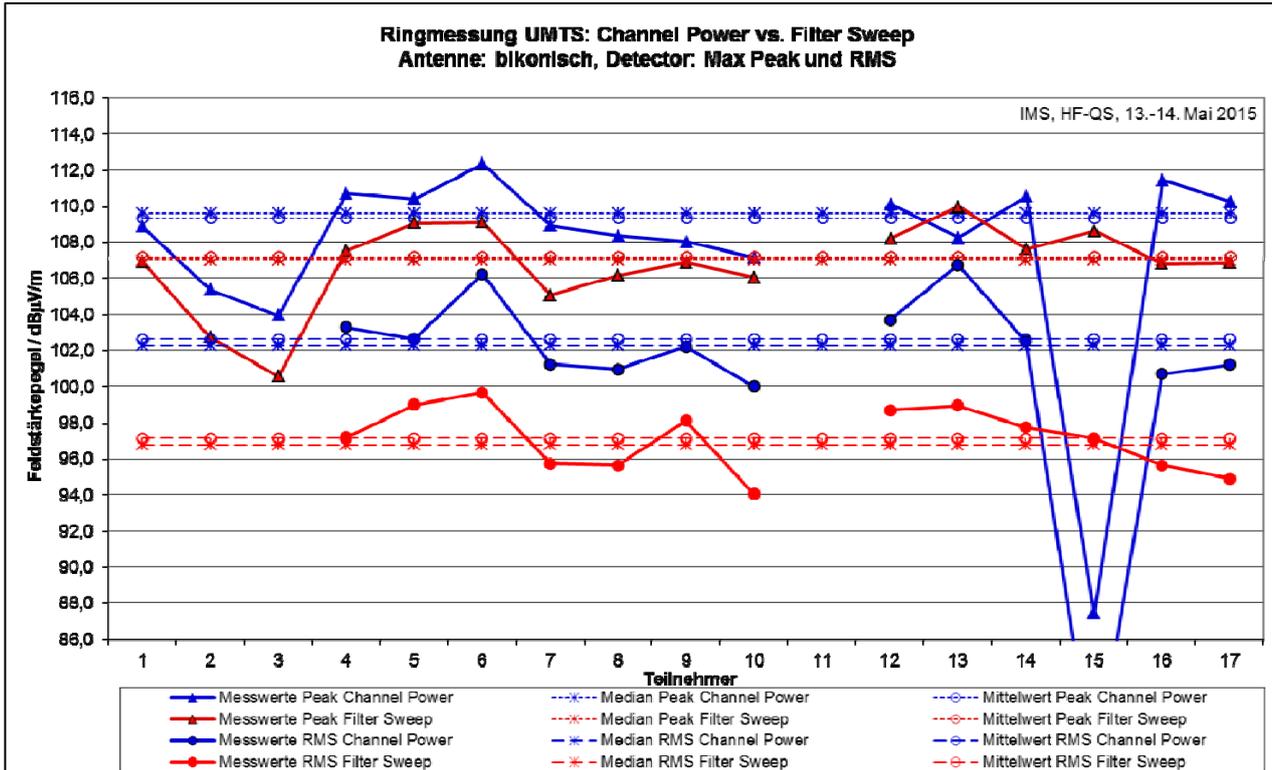
Mit dem Detector Max Peak beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung  $109,3 \text{ dB} - 107,2 \text{ dB} = 2,1 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $109,6 \text{ dB} - 107,0 \text{ dB} = 2,6 \text{ dB}$  (Median), immerhin also ca. 3 dB weniger.

Diesen Werten kommt der mit Formel b) berechnete Faktor noch am nächsten (Abweichung  $+3,3 \text{ dB}$  bzw.  $+2,8 \text{ dB}$ ).

#### **Detector RMS**

Mit dem Detector RMS beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung  $102,6 \text{ dB} - 97,1 \text{ dB} = 5,5 \text{ dB}$  (Mittelwert) bzw.  $102,3 \text{ dB} - 96,8 \text{ dB} = 5,5 \text{ dB}$  (Median).

Im Gegensatz zum Detector Max Peak entsprechen beim RMS-Detector diese Werte den berechneten sehr gut; dabei kommt der mit Formel b) berechnete Faktor den Messwerten am nächsten (Abweichung  $-0,1 \text{ dB}$ ).



Mönchengladbach, 31. August 2015

Dr.-Ing. Martin H. Virnich

Ende des Protokolls