

Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops
Qualitätssicherung bei der HF-Spektrumanalyse
– Ringmessungen und Geräteüberprüfung –
am 5. - 6. Mai 2016 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
Sandbarg 7
21266 Jesteburg
www.baubiologie.net

1	Inhaltsverzeichnis (Übersicht)	Seite
1	Inhaltsverzeichnis	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 GSM-R	17
8	Ringmessung GSM 900	21
9	Ringmessung LTE 800 mit Hochrechnung auf Volllast	25
10	Ringmessung LTE 1815 mit Hochrechnung auf Volllast	30
11	Ringmessung UMTS FDD	35
12	Ringmessung DVB-T	43
13	Ringmessung DECT Schnurlostelefon	49
14	Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)	53
15	Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)	57
16	Ringmessung Unbekannter Funkdienst (TETRA)	60

Inhaltsverzeichnis (detailliert)		Seite
1	Inhaltsverzeichnis	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
4	Verwendete Testgeräte	8
5	Begriffsbestimmungen	9
6	Messgeräteüberprüfung	10
6.1	Überprüfung des Frequenzgangs der Spektrumanalysatoren	10
6.2	Überprüfung der Detectoren Max Peak und RMS der Spektrumanalysatoren	12
6.3	Überprüfung der Antennenkabel	15
6.4	Überprüfung des Frequenzgangs der Messantennen	16
7	Ringmessung GSM-R	17
7.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	17
7.2	Messergebnisse GSM-R	18
8	Ringmessung GSM 900	21
8.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen für die Ringmessung „GSM 900 Organisationskanal 942,2 MHz“	21
8.2	Messergebnisse Organisationskanal 942,2 MHz	22
9	Ringmessung LTE 800 mit Hochrechnung auf Volllast	25
9.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	25
9.2	Messergebnisse LTE 800, Filter Sweep	26
9.3	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	27
9.4	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	27
9.5	Hochrechnung auf Volllast LTE 800, Filter Sweep	28
10	Ringmessung LTE 1815 mit Hochrechnung auf Volllast	30
10.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	30
10.2	Messergebnisse LTE 1815, Filter Sweep, RBW 1 MHz	31
10.3	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	32
10.4	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	32
10.5	Hochrechnung auf Volllast LTE 1815, Filter Sweep	33
11	Ringmessung UMTS FDD	35
11.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	35
11.2	Messergebnisse UMTS Filter Sweep, RBW 1 MHz	36
11.3	Messergebnisse UMTS Channel Power	37
11.4	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	38
11.5	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	38
11.6	UMTS Codeselektive Messung CPICH	40
11.7	Vergleich von Filter Sweep (RBW 1 MHz) und Channel Power-Messung	41

12	Ringmessung DVB-T	43
12.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	43
12.2	Messergebnisse DVB-T, Filter Sweep	44
12.3	Messergebnisse DVB-T, Channel Power	45
12.4	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	46
12.5	Gemessene Crestfaktoren, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	46
12.6	Vergleich von Filter Sweep (RBW 300 kHz) und Channel Power-Messung	47
13	Ringmessung DECT Schnurlostelefon	49
13.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	49
13.2	Messergebnisse DECT, Filter Sweep	50
13.3	Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und unterschiedlicher RBW	51
13.4	Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und RMS, RBW 1 MHz	51
14	Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)	53
14.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	53
14.2	WLAN im Standby, Filter Sweep	54
14.3	WLAN im Standby, Zero Span	55
15	Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)	57
15.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen	57
15.2	Messergebnisse WLAN mit Datentransfer, Channel Power	58
15.3	WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	59
15.4	WLAN mit Datentransfer: Gemessener Crestfaktor, berechnet aus persönlichen Mittelwerten	59
16	Ringmessung Unbekannter Funkdienst (TETRA)	60
16.1	Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen / Messaufgaben und Lösungen	60
16.2	TETRA: Digitaler Bündelfunk für BOS und Betriebe	61
16.3	Messergebnisse Unbekannter Funkdienst (TETRA)	67
16.3.1	Messaufgaben 1 bis 4	67
16.3.2	Pegelmessung	67
16.4	Gemessener Crestfaktor Filter Sweep, berechnet aus Mittelwert bzw. Median der Gruppe	69

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 5. - 6. Mai 2016 in Iphofen“ stellt einen Auszug aus dem Original-Protokoll dar. Das Original-Protokoll umfasst 92 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	110500870	-
2	Rohde & Schwarz	FSH 3	100112	X
3	Rohde & Schwarz	FSH4	105934/004	X
4	Rohde & Schwarz	FSH8	105780	X
5	Rohde & Schwarz	FSH 8	1309.6000K08-105543 - Cd	X
5B	Rohde & Schwarz	FSH 3 ¹⁾	101137	X
6	Rohde & Schwarz	FSH 8	101738	X
7	Rohde & Schwarz	FSL 6	100423	X
7B	Advantest	R 3132 ¹⁾	101003435	-
8	Rohde & Schwarz	FSL 6	100399	X
8B	Anritsu	MS 2651B ¹⁾	MT42988	-
9	Rohde & Schwarz	FSL 18	101130	X
10	Rohde & Schwarz	FSP 13	100388	X

SN = Seriennummer

¹⁾ Nur für Geräteprüfung, nicht für Ringmessungen verwendet.

3.2 Antennenkabel

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

Teiln. ID	Antennenkabel			
	Hersteller	Typ	Länge [m]	SN
1	Schwarzbeck	AK 9513	3	9513#4
2	Schwarzbeck	AK 9513	2	---
	Schwarzbeck	AK 9513	5	---
3	Huber Suhner	RG223/U	1	---
	Schwarzbeck	AK 9513	2	---
4	Schwarzbeck	AK 9513	10	---
	Huber & Suhner	Multiflex 141	1,5	16_01
5	Schwarzbeck	AK 9513	3	AR
	Schwarzbeck	AK 9513	3	GG
6	Schwarzbeck	AK9515H	3	24
7	Schwarzbeck	AK 9513	3	95588
	Schwarzbeck	AK 9513	3	160428
	Schwarzbeck	AK 9513	5	---
	Schwarzbeck	AK 9515E	3	---
8	Schwarzbeck	AK 9513 (neu)	5	96256
	Schwarzbeck	AK 9513 (alt)	5	95175
	Micro Coax	Utiflex UFB 311A	2	3706-0073
	Micro Coax	Utiflex UFB 311A	2	3706-0056
9	Schwarzbeck	AK 9513	3	1
	Schwarzbeck	AK 9513	3	2
	Schwarzbeck	AK 9515E	3	1
	Micro Coax	Utiflex UFB 311A	2	3706-0099
10	Schwarzbeck	AK 9513	3	---
	Schwarzbeck	AK 9513	2	---

3.3 Messantennen

Teiln. ID	Antennen (mit SN je Teilnehmer) ²⁾					
	E log.-per.				E bikonisch	
	USLP 9143	USLP 9142 ³⁾	ESLP 9145	STLP 9148	SBA 9113 B	EFS 9218
1					224	
2	356				365	166
3	247					132
4		110			374	164
5	251					101
	136					
6			X999		252	
7	198				362	102
	242					
8	561				367	106
	218					
9	413		256		142	195
10	208				192	110

SN = Seriennummer

²⁾ Antennenhersteller: Schwarzbeck, falls nicht anders angegeben.

³⁾ Der Antennentyp wird nur von einem Teilnehmer verwendet und stellt im Rahmen dieser Ringmessungen keine Standardantenne dar.

4 Verwendete Testgeräte

Zur Überprüfung der Antennen, der Antennenkabel und der Pegelanzeige der Spektrumanalysatoren bei 900 MHz, 1.800 MHz und 2.700 MHz wurde der Analysator Advantest R3132 mit Trackinggenerator, SNr. 101003435, verwendet.

Das Testsignal für die Detectorüberprüfung der Analysatoren (Max Peak und RMS) bei 900 MHz stammte aus einem Signalgenerator Rohde & Schwarz SFC Compact Modulator; 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 SFC 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 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 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. Messwerte, die zwar noch keine Ausreißer darstellen, aber deutlich stärker als die der übrigen Teilnehmer abweichen, sind kräftig gelb markiert.

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. Wurden Messwerte korrigiert, so sind in den Graphiken diese korrigierten Werte enthalten.

6 Messgeräteüberprüfung

6.1 Überprüfung des Frequenzgangs der Spektrumanalysatoren

Durchführung der Überprüfung am 5. Mai 2016: Dr.-Ing. Dietrich Moldan

Prüfaufbau

- Spektrumanalysator (Generator):

Advantest R3132 mit Trackinggenerator, SNr. 101003435,
kalibriert für 9 kHz - 3 GHz, Datum der letzten Kalibrierung: 18.12.2014

Signal: CW-Signal

Pegel: 92 dB μ V (-15 dBm) RMS

Frequenzen: 900 MHz / 1.800 MHz / 2.700 MHz

- Verbindungskabel Generator \rightarrow Analysator-Prüfling

Der Output des Generators wurde jeweils mit dem Input des zu überprüfenden Spektrumanalysators mittels eines extrem verlustarmen Antennenkabels (Micro Coax Utiflex UFB311A, SNr. 3706-0056) von 2 m Länge verbunden (Kabeldämpfung 0,37 dB bei 900 MHz, 0,53 dB bei 1.800 MHz und 0,59 dB bei 2.700 MHz).

Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen der Prüflinge

Ref Level 100 dB μ V

Center Frequency: 900 MHz / 1.800 MHz / 2.700 MHz

Span: 5 MHz

Filterbandbreite RBW: 100 kHz

Videobandbreite VBW: 300 kHz

Detector: Max Peak

Sweep Time: 100 ms

Trace: Max Hold

Ergebnisse

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Spannungspegel dB μ V			900 MHz		1.800 MHz		2.700 MHz	
		900 MHz	1800 MHz	2700 MHz	Abweichung vom MW der Gruppe	Abweichung vom Median der Gruppe	Abweichung vom MW der Gruppe	Abweichung vom Median der Gruppe	Abweichung vom MW der Gruppe	Abweichung vom Median der Gruppe
1	R 3131	91,07	90,84	91,08	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5
2	FSH 3	91,72	91,65	91,95	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4
3	FSH 4	91,30	91,10	91,60	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,1	0,0
4	FSH 8	91,57	90,60	91,60	0,1	0,1	-0,7	-0,7	0,1	0,0
5	FSH 8	91,40	91,30	91,50	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
5B	FSH 3	90,93	91,01	90,88	-0,6	-0,6	-0,3	-0,3	-0,7	-0,7
6	FSH 8	91,50	91,20	91,50	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
7	FSL 6	91,58	91,44	91,60	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0
8	FSL 6	91,50	91,35	91,35	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,2	-0,2
8B	MS 2651B	90,22	89,90	90,52	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,0	-1,1
9	FSL 18	91,94	91,85	92,02	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4
10	FSP 13	91,85	91,71	91,83	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2

St.abw. d. Gruppe: 0,3 0,4 0,3 (o.A.)

Mittelw. d. Gruppe: 91,5 91,3 91,5 (o.A.)

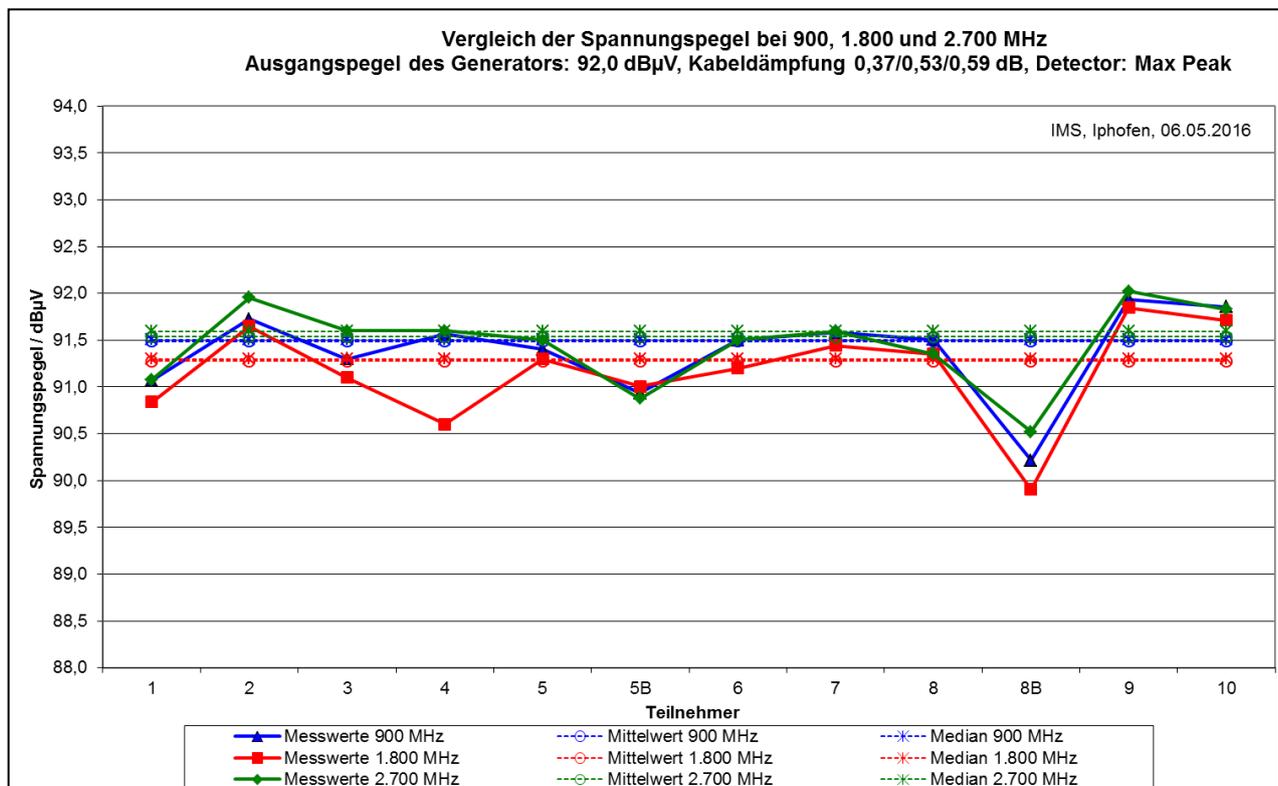
Median d. Gruppe: 91,5 91,3 91,6 (o.A.)

o.A.: ohne Ausreißer

Der bereits ältere Spektrumanalysator MS 2651B von Teilnehmer 8B weist die höchsten Abweichungen bezüglich Mittelwert und Median der Gruppe in Höhe von $-1,0$ bis $-1,4$ dB auf. Seine Messwerte fließen daher nicht in Mittelwert und Median der Gruppe ein. Die Abweichungen der übrigen Analysatoren liegen – großenteils deutlich – unter $1,0$ dB.

Die absoluten Abweichungen vom Ausgangspegel des Generators liegen in der Größenordnung von $0,5$ dB und entsprechen der Kabeldämpfung.

Bei den Frequenzgangüberprüfungen in den Vorjahren waren die Messergebnisse pro Frequenzstufe im Mittel um jeweils knapp $0,5$ dB gesunken; es bestand immer die Vermutung, dass es sich hierbei um einen anderweitig begründeten Effekt handelte, der nicht den Detektoren zuzuschreiben war. Damals war ein anderes Kabel zum Anschluss der Prüflinge an den Generator verwendet worden. Mit dem in diesem Jahr erstmals eingesetzten extrem verlustarmen Kabel fällt der Effekt erheblich niedriger aus.



6.2 Überprüfung der Detectoren Max Peak und RMS der Spektrumanalysatoren

Durchführung der Überprüfung am 5. Mai 2016: Dr.-Ing. Dietrich Moldan

Prüfaufbau und -ablauf

- Signalgenerator:

Rohde & Schwarz Compact Modulator SFC

Signal: DVB-T-Signal mit 8 MHz Bandbreite, Crestfaktor CF = 12,0 dB

Pegel: 87 dB μ V (–20 dBm) RMS

Frequenz: 900 MHz

- Verbindungskabel Generator \rightarrow Analysator-Prüfling

Der Output des Generators wurde mit dem Input des zu überprüfenden Spektrumanalysators mittels eines extrem verlustarmen Antennenkabels (Micro Coax Utiflex UFB311A, SNr. 3706-0056) von 2 m Länge verbunden (Kabeldämpfung 0,37 dB bei 900 MHz).

Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen der Prüflinge

Ref Level	100 dB μ V
Center Frequency:	900 MHz
Span:	10 MHz
Filterbandbreite RBW:	1 MHz
Videobandbreite VBW:	1 MHz
Detector:	Max Peak / RMS
Sweep Time:	500 ms / 500 ms
Trace:	Max Hold

Ergebnisse

Der Ausgangspegel des Generators war auf 87 dB μ V (–20 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 $(87,0 - 9,0) \text{ dB}\mu\text{V RMS} = 78,0 \text{ dB}\mu\text{V RMS}$ und $(87,0 - 8,6) \text{ dB}\mu\text{V RMS} = 78,4 \text{ dB}\mu\text{V RMS}$.

Bei der Geräteüberprüfung ergaben sich ein Mittelwert der Messwerte von 77,8 dB μ V RMS und als Median ebenfalls 77,8 dB μ V RMS. Damit wird der zu erwartende RMS-Wert sehr gut getroffen, insbesondere, wenn man die Kabeldämpfung von 0,37 dB noch berücksichtigt.

Bei einem eingestellten Crestfaktor des Signals von 12,0 dB liegen die zu erwartenden Werte zwischen $(78,0 + 12,0) \text{ dB}\mu\text{V Peak} = 90,0 \text{ dB}\mu\text{V Peak}$ und $(78,4 + 12,0) \text{ dB}\mu\text{V Peak} = 90,4 \text{ dB}\mu\text{V Peak}$.

Bei der Geräteüberprüfung ergab sich ein Mittelwert der Peak-Messwerte von 89,6 dB μ V bzw. ein Median von 89,5 dB μ V; damit wird der zu erwartende Peak-Wert ebenfalls sehr gut getroffen, insbesondere, wenn man die Kabeldämpfung von 0,37 dB noch berücksichtigt.

Die Abweichungen liegen mit dem RMS- und dem Peak-Detector in der gleichen Größenordnung.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Spannungs-pegel	Abweichung	Spannungs-pegel	Abweichung
		dB μ V Peak	vom Referenzwert Peak	dB μ V RMS	vom Referenzwert RMS
1	R 3131	86,68	-3,3	-	-
2	FSH 3	90,12	0,1	78,19	0,2
3	FSH4	89,50	-0,5	77,40	-0,6
4	FSH8	89,83	-0,2	77,80	-0,2
5	FSH 8	89,23	-0,8	77,43	-0,6
5B	FSH 3	89,49	-0,5	77,50	-0,5
6	FSH 8	89,23	-0,8	77,43	-0,6
7	FSL 6	89,43	-0,6	78,02	0,0
7B	R 3132	88,98	-1,0	-	-
8	FSL 6	89,66	-0,3	77,96	0,0
8B	MS 2651B	87,98	-2,0	-	-
9	FSL 18	90,05	0,1	78,28	0,3
10	FSP 13	90,04	0,0	79,65	1,7

Standardabw. der Gruppe (o.A.):	0,4	0,3
Mittelwert der Gruppe (o.A.):	89,6	77,8
Median der Gruppe (o.A.):	89,5	77,8
Referenzwert (Generator):	90,00	78,00

o.A. = ohne Ausreißer

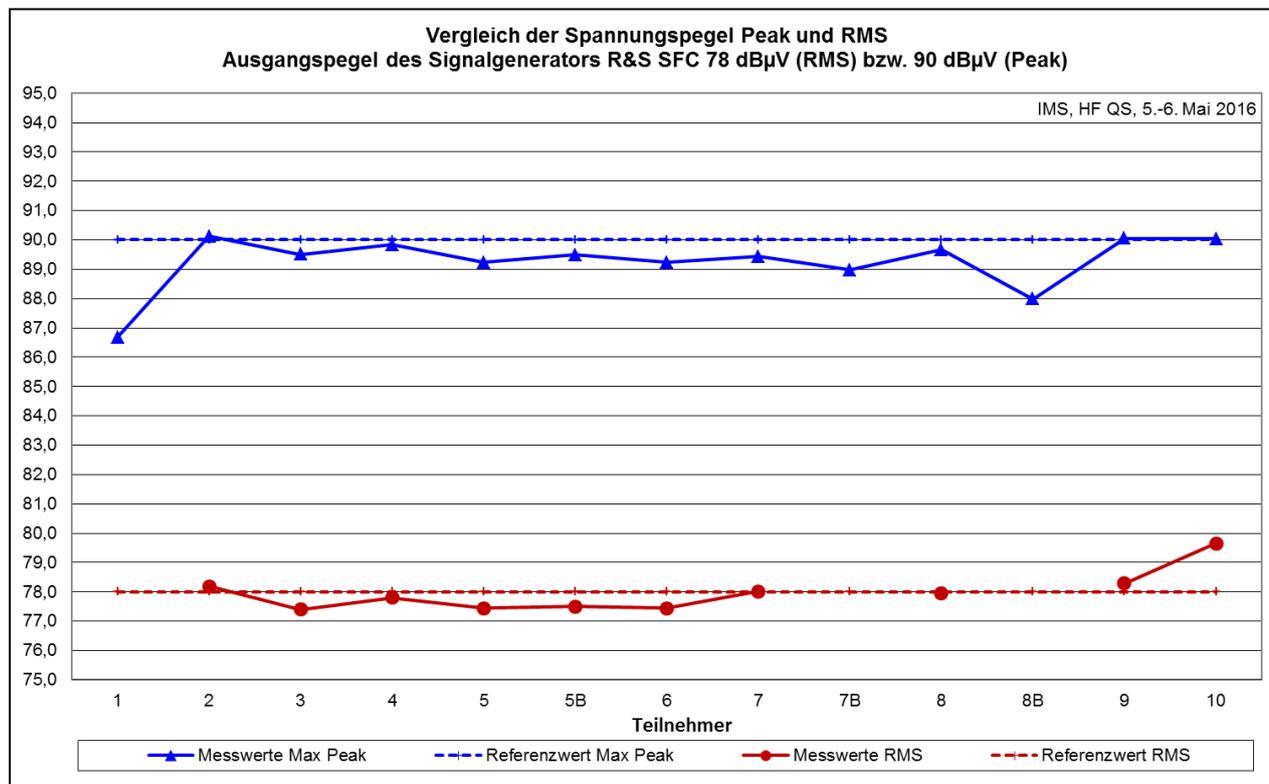
Es fällt auf, dass der Analysator von Teilnehmer 1, der bei der Überprüfung mit einem CW-Signal von 900 MHz lediglich eine Abweichung von -0,4 dB aufwies (s. Kap. 5.1) bei der Beaufschlagung mit einem breitbandigen Signal und hohem Crestfaktor eine wesentlich höhere Abweichung von -3,3 dB zeigt. Möglicherweise ist dies zumindest zum Teil auf die unsymmetrisch „verbogene“ Filterkurve bei RBW 1 MHz zurückzuführen.

Der Analysator von Teilnehmer 10 zeigt hingegen mit dem breitbandigen Signal und RMS-Detector deutlich zu hohe Werte an, was zu einem zu kleinen Crestfaktor führt. Dieser Effekt macht sich auch bei den entsprechenden Ringmessungen signifikant bemerkbar. Der Analysator sollte diesbezüglich einer Inspektion und ggf. Reparatur unterzogen werden.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Spannungspegel dB μ V		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	86,68	-	-
2	FSH 3	90,12	78,19	11,93
3	FSH4	89,50	77,40	12,10
4	FSH8	89,83	77,80	12,03
5	FSH 8	89,23	77,43	11,80
5B	FSH 3	89,49	77,50	11,99
6	FSH 8	89,23	77,43	11,80
7	FSL 6	89,43	78,02	11,41
7B	R 3132	88,98	-	-
8	FSL 6	89,66	77,96	11,70
8B	MS 2651B	87,98	-	-
9	FSL 18	90,05	78,28	11,77
10	FSP 13	90,04	79,65	10,38

Standardabw. d. Gruppe (o.A.):	0,4	0,3	0,2
Mittelwert d. Gruppe (o.A.):	89,6	77,8	11,8
Median d. Gruppe (o.A.):	89,5	77,8	11,8
Referenzwert (Generator):	90,0	78,0	12,0

Bis auf den Ausreißer Nr. 10 wird der am Signalgenerator eingestellte Crestfaktor von 12,0 dB sehr gut getroffen. Der bei den Ringmessungen über die „Luftschnittstelle“ häufig zu beobachtende Effekt, dass die gemessenen Crestfaktoren deutlich niedriger ausfallen als zu erwarten wäre, liegt demnach nicht an den Detektoren der Spektrumanalysatoren.



6.3 Überprüfung der Antennenkabel

Durchführung der Überprüfung am 5. Mai 2016: Dr.-Ing. Dietrich Moldan

Prüfaufbau und -ablauf

Spektrumanalysator (Generator):

- Advantest R3132 mit Trackinggenerator, SNr. 101003435, kalibriert für 9 kHz - 3 GHz, Datum der letzten Kalibrierung: 18.12.2014

Untersuchter Frequenzbereich: 100 kHz bis 3 GHz

Pegel (Reference Level): REF = 0 dBm (1 mW)

Das zu prüfende Antennenkabel wurde an die Anschlüsse Output und Input des Spektrumanalysators mit Trackinggenerator angeschlossen. Anschließend wurde die Dämpfung bei 3 GHz ermittelt und kontrolliert, ob bei mechanischer Bewegung im Bereich der Kabelanschlüsse an den N-Steckern bzw. in der gesamten Kabellänge Störungen in der Dämpfungskurve auftreten.

Ergebnisse

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	
3 *	Schwarzbeck	AK 9513		10	5,0	4,5	5,5	in Ordnung
2 *	Schwarzbeck	AK 9513	---	5	2,8	2,0	3,0	in Ordnung
7 *	Schwarzbeck	AK 9513	---	5	3,0	2,0	3,0	in Ordnung
8	Schwarzbeck	AK 9513	96256	5	2,7	2,0	3,0	in Ordnung
8 *	Schwarzbeck	AK 9513	95175	5	2,5	2,0	3,0	in Ordnung
1	Schwarzbeck	AK 9513	9513#4	3	1,5	1,5	2,5	in Ordnung
5	Schwarzbeck	AK 9513		3	1,9	1,5	2,5	in Ordnung
5B *	Schwarzbeck	AK 9513		3	1,6	1,5	2,5	in Ordnung
7	Schwarzbeck	AK 9513	95588	3	2,1	1,5	2,5	in Ordnung
7 *	Schwarzbeck	AK 9513	160428	3	1,8	1,5	2,5	in Ordnung
9	Schwarzbeck	AK 9513	1	3	1,9	1,5	2,5	in Ordnung
9 *	Schwarzbeck	AK 9513	2	3	2,0	1,5	2,5	in Ordnung
10	Schwarzbeck	AK 9513	---	3	1,9	1,5	2,5	in Ordnung
2	Schwarzbeck	AK 9513	---	2	1,6	0,5	1,5	Dämpfung zu hoch
3	Schwarzbeck	AK 9513		2	1,1	0,5	1,5	in Ordnung
10 *	Schwarzbeck	AK 9513	---	2	1,2	0,5	1,5	in Ordnung
7 *	Schwarzbeck	AK 9515E	---	3	1,2	1,0	2,0	in Ordnung
9 *	Schwarzbeck	AK 9515E	1	3	1,2	1,0	2,0	in Ordnung
6	Schwarzbeck	AK 9515H	24	3	2,0	2,0	3,0	in Ordnung
4	Huber & Suhner	Multiflex 141	16_01	1,5	1,0	1,0	2,0	in Ordnung
2 *	Huber Suhner	RG223/U	---	1	1,0	1,0	2,0	in Ordnung
8 *	Micro Coax	Utiflex UFB 311A	3706-0056	2	0,9	0,5	1,5	in Ordnung
8 *	Micro Coax	Utiflex UFB 311A	3706-0073	2	0,9	0,5	1,5	in Ordnung
9 *	Micro Coax	Utiflex UFB 311A	3706-0099	2	1,0	0,5	1,5	in Ordnung

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

6.4 Überprüfung des Frequenzgangs der Messantennen

Durchführung der Überprüfung am 6. Mai 2016: Dr.-Ing. Dietrich Moldan

Prüfaufbau und -ablauf

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.

Ergebnisse der Antennenprüfungen

Teiln. ID	Antennen (mit SN je Teilnehmer) ²⁾					
	E log.-per.				E bikonisch	
	USLP 9143	USLP 9142 ³⁾	ESLP 9145	STLP 9148	SBA 9113 B	EFS 9218
1					224	
2	356				365	166
3	247					132
4		110			374	164
5	251					101
	136					
6			X999		252	
7	198				362	102
	242					
8	561				367	106
	218					
9	413		256		142	195
10	208				192	110

SN = Seriennummer

²⁾ Antennenhersteller: Schwarzbeck, falls nicht anders angegeben.

³⁾ Der Antennentyp wird nur von einem Teilnehmer verwendet und stellt im Rahmen dieser Ringmessungen keine Standardantenne dar.

Die Antennen werden auf Grund der Überprüfung als „in Ordnung“ befunden, außer:

- USLP 9143, SN 198: defekt
- USLP 9143, SN 208: nicht geprüft
- SBA 9113B, SN 192: nicht geprüft
- EFS 9218, SN 110: nicht geprüft.

7 Ringmessung GSM-R

7.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung GSM-R wurde am 5. Mai 2016 im Freien vor dem großen Schulungsraum des Schulungszentrums der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt.

Am Erdboden war ein Messpunkt markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Die Basisstation GSM-R befindet sich im Bereich des Bahnhofs Iphofen in ca. 430 m Entfernung. Es besteht direkter Sichtkontakt.

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

Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

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

7.2 Messergebnisse GSM-R

Detector Max Peak

Messergebnisse mit Ausreißern

GSM-R 923,0 MHz, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	356	104,88	104,21	103,85	104,3	0,4	-1,1	-1,8
2	FSH 3	USLP 9143	eigene	105,30	106,20	105,30	105,6	0,4	0,2	-0,5
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	106,10	106,20	106,90	106,4	0,4	1,0	0,3
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	107,30	107,00	107,50	107,3	0,2	1,8	1,2
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	106,72	106,82	107,20	106,9	0,2	1,5	0,8
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	104,80	104,30	105,00	104,7	0,3	-0,7	-1,4
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	98,86	97,62	98,78	98,4	0,6	-7,0	-7,7
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	106,58	107,11	106,09	106,6	0,4	1,2	0,5
9	FSL 18	ESLP 9145	eigene	108,48	108,67	108,42	108,5	0,1	3,1	2,4
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	105,00	105,90	105,60	105,5	0,4	0,1	-0,6

Standardabweichung der Gruppe:

2,6

Mittelwert der Gruppe:

105,4

Median der Gruppe:

106,1

Bemerkungen: Teiln. 7: Messantenne defekt

Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)

GSM-R 923,0 MHz, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	356	104,88	104,21	103,85	104,3	0,4	-1,9	-1,9
2	FSH 3	USLP 9143	eigene	105,30	106,20	105,30	105,6	0,4	-0,6	-0,6
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	106,10	106,20	106,90	106,4	0,4	0,2	0,2
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	107,30	107,00	107,50	107,3	0,2	1,1	1,1
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	106,72	106,82	107,20	106,9	0,2	0,7	0,7
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	104,80	104,30	105,00	104,7	0,3	-1,5	-1,5
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	98,86	97,62	98,78	98,4	0,6	-7,8	-7,8
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	106,58	107,11	106,09	106,6	0,4	0,4	0,4
9	FSL 18	ESLP 9145	eigene	108,48	108,67	108,42	108,5	0,1	2,3	2,3
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	105,00	105,90	105,60	105,5	0,4	-0,7	-0,7

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,3

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

106,2

Median der Gruppe (o.A.):

106,2

Ohne Berücksichtigung des Ausreißers in der Statistik reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,6 auf 1,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne den Ausreißer sind Mittelwert und Median der Gruppe identisch.

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

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

Detector RMS**Messergebnisse mit Ausreißern****GSM-R 923,0 MHz, Detector RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	FSH 3	USLP 9143	eigene	105,10	102,90	104,30	104,1	0,9	0,7	0,2
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	103,40	103,30	103,70	103,5	0,2	0,1	-0,4
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	103,90	104,20	103,60	103,9	0,2	0,5	0,0
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	104,72	103,32	103,50	103,8	0,6	0,5	-0,1
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	103,30	104,30	103,80	103,8	0,4	0,4	-0,1
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	95,69	96,40	96,71	96,3	0,4	-7,1	-7,6
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,06	103,76	105,12	104,3	0,6	0,9	0,4
9	FSL 18	ESLP 9145	eigene	106,50	106,25	105,88	106,2	0,3	2,8	2,3
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	105,20	104,00	104,20	104,5	0,5	1,1	0,6

Standardabweichung der Gruppe:

2,7

Mittelwert der Gruppe:

103,4

Median der Gruppe:

103,9

Bemerkungen: Teiln. 7: Messantenne defekt

Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)**GSM-R 923,0 MHz, Detector RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	FSH 3	USLP 9143	eigene	105,10	102,90	104,30	104,1	0,9	-0,2	0,1
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	103,40	103,30	103,70	103,5	0,2	-0,8	-0,6
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	103,90	104,20	103,60	103,9	0,2	-0,4	-0,1
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	104,72	103,32	103,50	103,8	0,6	-0,4	-0,2
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	103,30	104,30	103,80	103,8	0,4	-0,5	-0,2
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	95,69	96,40	96,71	96,3	0,4	-8,0	-7,8
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,06	103,76	105,12	104,3	0,6	0,1	0,3
9	FSL 18	ESLP 9145	eigene	106,50	106,25	105,88	106,2	0,3	1,9	2,2
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	105,20	104,00	104,20	104,5	0,5	0,2	0,4

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

0,9

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

104,3

Median der Gruppe (o.A.):

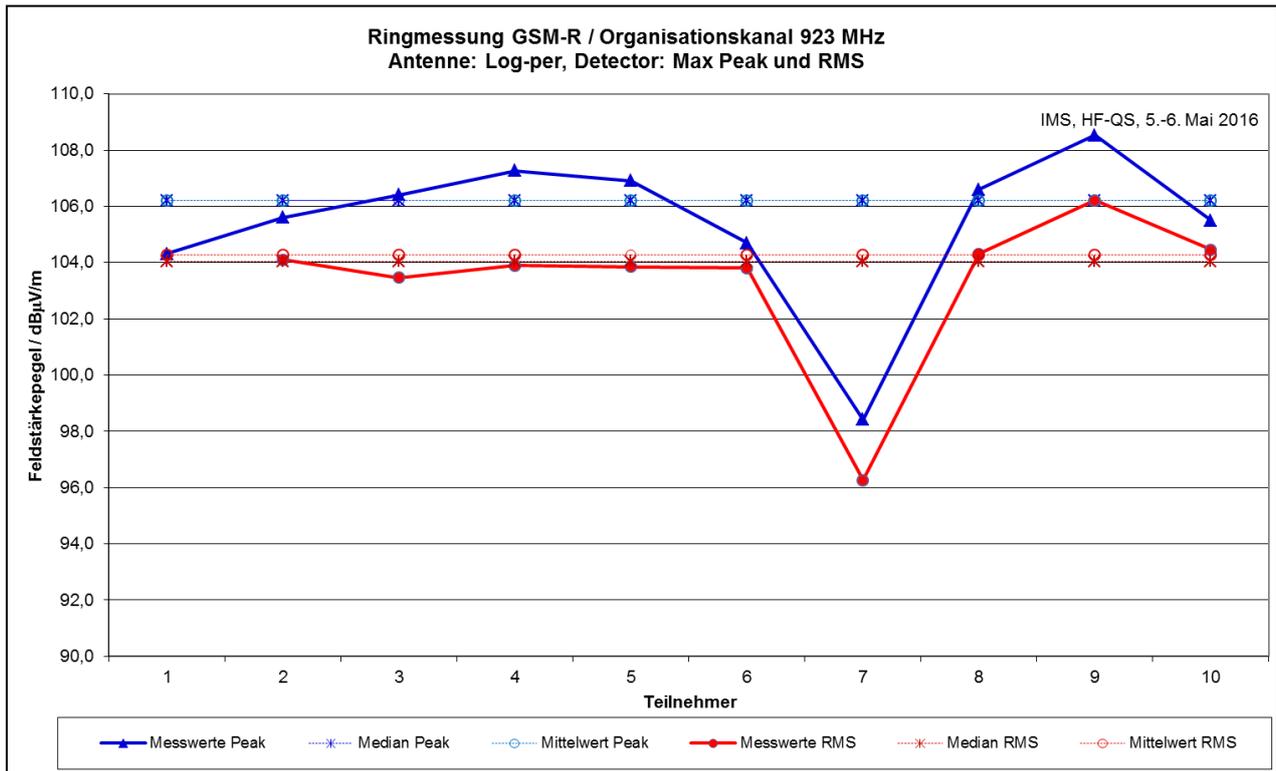
104,0

Ohne Berücksichtigung des Ausreißers in der Statistik reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,7 auf 0,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +1,9 dB bzw. -0,8 dB, vom Median der Gruppe +2,2 dB bzw. -0,6 dB.

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



Die Mittelwerte von Peak- und RMS-Detector unterscheiden sich um $(106,2 - 104,3) \text{ dB} = 1,9 \text{ dB}$, die Mediane um $(106,2 - 104,0) \text{ dB} = 2,2 \text{ dB}$. Diese Differenzen sind unerwartet hoch, da es sich theoretisch um ein Signal mit einem Crestfaktor von ca. 0 dB handelt.

8 Ringmessung GSM 900

8.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen für die Ringmessung „GSM 900 Organisationskanal 942,2 MHz“

Die Ringmessung GSM 900 wurde am 5. Mai 2016 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.

Am Fußboden vor der Glasfront war ein Messpunkt markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

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

Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

Spektralbereich: 925 ... 960 MHz (Span 35 MHz)
Ausgewertet wird aus dem gesamten Spektralbereich nur der Pegel des dominierenden Organisationskanals bei 942,2 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

8.2 Messergebnisse Organisationskanal 942,2 MHz

Detector Max Peak

Messergebnisse mit Ausreißern

GSM 942,2 MHz, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	356	110,21	110,83	110,21	110,4	0,3	6,9	1,2
2	FSH 3	USLP 9143	eigene	111,10	110,70	111,30	111,0	0,2	7,5	1,8
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	105,20	98,60	96,00	99,9	3,9	-3,6	-9,3
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	108,90	108,40	108,20	108,5	0,3	4,9	-0,7
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	109,32	109,12	108,62	109,0	0,3	5,5	-0,2
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	62,20	61,30	61,10	61,5	0,5	-42,0	-47,7
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	103,69	105,20	103,19	104,0	0,9	0,5	-5,2
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	107,66	110,53	109,90	109,4	1,2	5,8	0,1
9	FSL 18	USLP 9143	eigene	111,77	111,21	112,30	111,8	0,4	8,2	2,5
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	110,40	110,03	109,70	110,0	0,3	6,5	0,8

Standardabweichung der Gruppe:

14,5

Mittelwert der Gruppe:

103,6

Median der Gruppe:

109,2

Bemerkungen: Teiln. 6: Falscher Marker (Rauschmarker) abgelesen
Teiln. 7: Messantenne defekt

Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)

GSM 942,2 MHz, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	356	110,21	110,83	110,21	110,4	0,3	0,4	0,3
2	FSH 3	USLP 9143	eigene	111,10	110,70	111,30	111,0	0,2	1,0	0,9
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	105,20	98,60	96,00	99,9	3,9	-10,1	-10,2
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	108,90	108,40	108,20	108,5	0,3	-1,5	-1,6
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	109,32	109,12	108,62	109,0	0,3	-1,0	-1,1
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	110,80	109,80	109,30	110,0	0,6	0,0	-0,2
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	103,69	105,20	103,19	104,0	0,9	-6,0	-6,1
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	107,66	110,53	109,90	109,4	1,2	-0,6	-0,8
9	FSL 18	USLP 9143	eigene	111,77	111,21	112,30	111,8	0,4	1,7	1,6
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	110,40	110,03	109,70	110,0	0,3	0,0	-0,1

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,1

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

110,0

Median der Gruppe (o.A.):

110,1

Ohne Berücksichtigung der Ausreißer in der Statistik und mit der Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 14,5 auf 1,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer und mit Korrektur +1,7 dB bzw. -1,5 dB, vom Median der Gruppe +1,6 dB bzw. -1,6 dB.

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

Detector RMS**Messergebnisse mit Ausreißern****GSM 942,2 MHz, Detector RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	FSH 3	USLP 9143	eigene	106,30	106,30	106,80	106,5	0,2	6,2	0,2
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	103,40	103,30	103,70	103,5	0,2	3,2	-2,8
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	106,00	105,40	105,10	105,5	0,4	5,2	-0,8
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	107,52	107,22	106,42	107,1	0,5	6,8	0,8
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	54,60	54,30	56,20	55,0	0,8	-45,2	-51,3
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	101,23	101,24	99,97	100,8	0,6	0,5	-5,5
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	106,35	107,51	105,98	106,6	0,7	6,3	0,3
9	FSL 18	USLP 9143	eigene	109,43	109,11	108,36	109,0	0,4	8,7	2,7
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	108,20	108,70	108,50	108,5	0,2	8,2	2,2

Standardabweichung der Gruppe:

16,2

Mittelwert der Gruppe:

100,3

Median der Gruppe:

106,3

Bemerkungen: Teiln. 6: Falscher Marker (Rauschmarker) abgelesen

Teiln. 7: Messantenne defekt

Messergebnisse ohne Ausreißer (o.A.)**GSM 942,2 MHz, Detector RMS**

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	FSH 3	USLP 9143	eigene	106,30	106,30	106,80	106,5	0,2	0,0	0,1
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	103,40	103,30	103,70	103,5	0,2	-3,0	-2,9
4	FSH 8	USLP 9142	eigene	106,00	105,40	105,10	105,5	0,4	-1,0	-0,9
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	107,52	107,22	106,42	107,1	0,5	0,6	0,7
6	FSH 8	ESLP9145	eigene	104,30	106,80	104,80	105,3	1,1	-1,2	-1,1
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	101,23	101,24	99,97	100,8	0,6	-5,7	-5,6
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	106,35	107,51	105,98	106,6	0,7	0,1	0,2
9	FSL 18	USLP 9143	eigene	109,43	109,11	108,36	109,0	0,4	2,5	2,6
10	FSP 13	USLP 9143	eigene	108,20	108,70	108,50	108,5	0,2	2,0	2,1

Standardabweichung der Gruppe (o.A.):

1,7

Mittelwert der Gruppe (o.A.):

106,5

Median der Gruppe (o.A.):

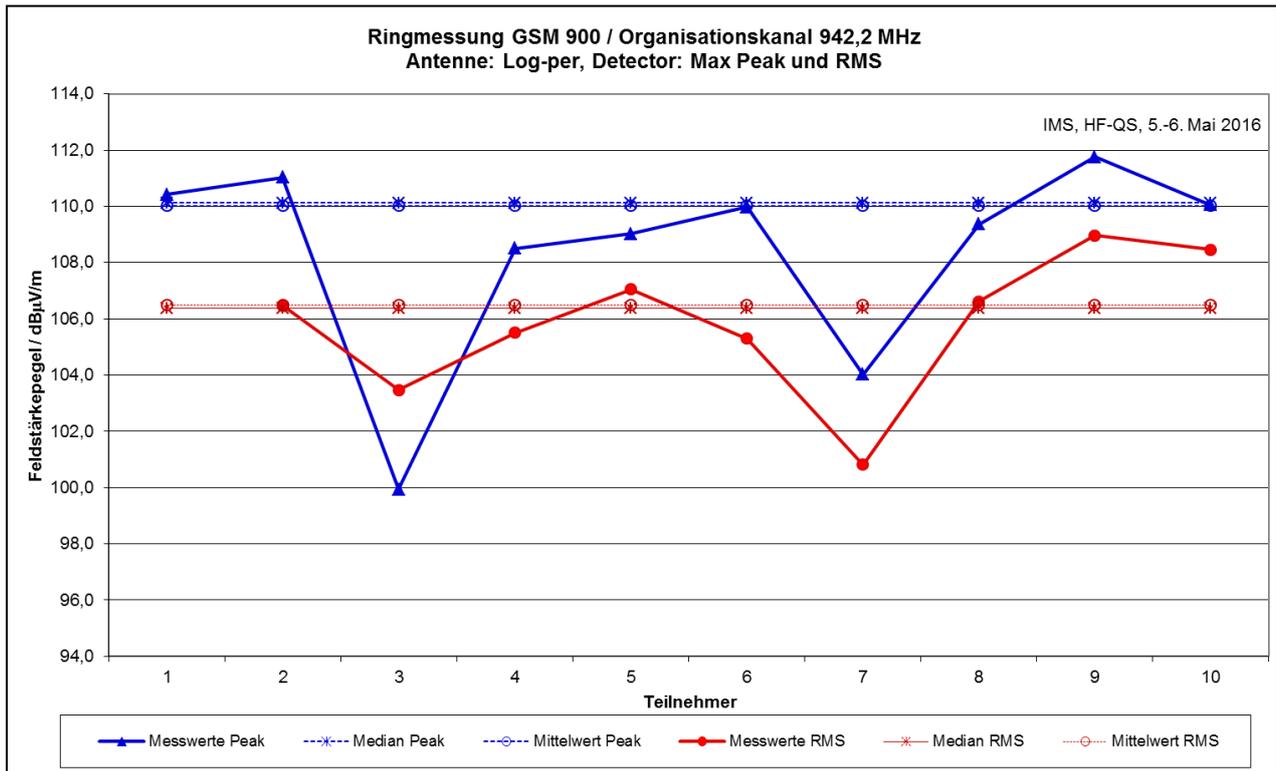
106,4

Ohne Berücksichtigung der Ausreißer in der Statistik und mit der Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 16,2 auf 1,7 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer und mit Korrektur +2,5 dB bzw. -3,0 dB, vom Median der Gruppe +2,6 dB bzw. -2,9 dB.

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



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern bei beiden Detektoren gleich.

Die Mittelwerte von Peak- und RMS-Detector unterscheiden sich um $(110,0 - 106,5) \text{ dB} = 3,5 \text{ dB}$, die Mediane um $(110,1 - 106,4) \text{ dB} = 3,7 \text{ dB}$.

Diese Differenzen sind für ein klassisches GSM- bzw. GPRS-Signal unerwartet hoch, da der Crestfaktor hierfür theoretisch nahe bei 0 dB liegt. Für EDGE-Signale hingegen entsprechen die Werte der Erwartung, da EDGE-Signale theoretisch einen Crestfaktor von ca. 3 dB aufweisen.

9 Ringmessung LTE 800 mit Hochrechnung auf Vollast

9.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung LTE 800 wurde am 5. Mai 2016 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.

Am Fußboden vor der Glasfront war ein Messpunkt markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

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

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

Messgeräteeinstellungen Filter Sweep

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 μ s abgebildet wird.

Trace: Max Hold

9.2 Messergebnisse LTE 800, Filter Sweep

Detector: Max Peak

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,2 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.

Lässt man Teilnehmer 1 zunächst einmal außer Acht, so beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe mit der Korrektur +2,7 dB bzw. -1,9 dB, vom Median der Gruppe +2,5 bzw. -2,2 dB. Die persönlichen Abweichungen von Teilnehmer 1 liegen mit - 4,1 bzw. - 4,3 dB zwar noch unter - 5,0 dB, sind aber im Vergleich zu den übrigen Teilnehmern auffallend hoch.

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,5 dB, die niedrigste 0,0 dB.

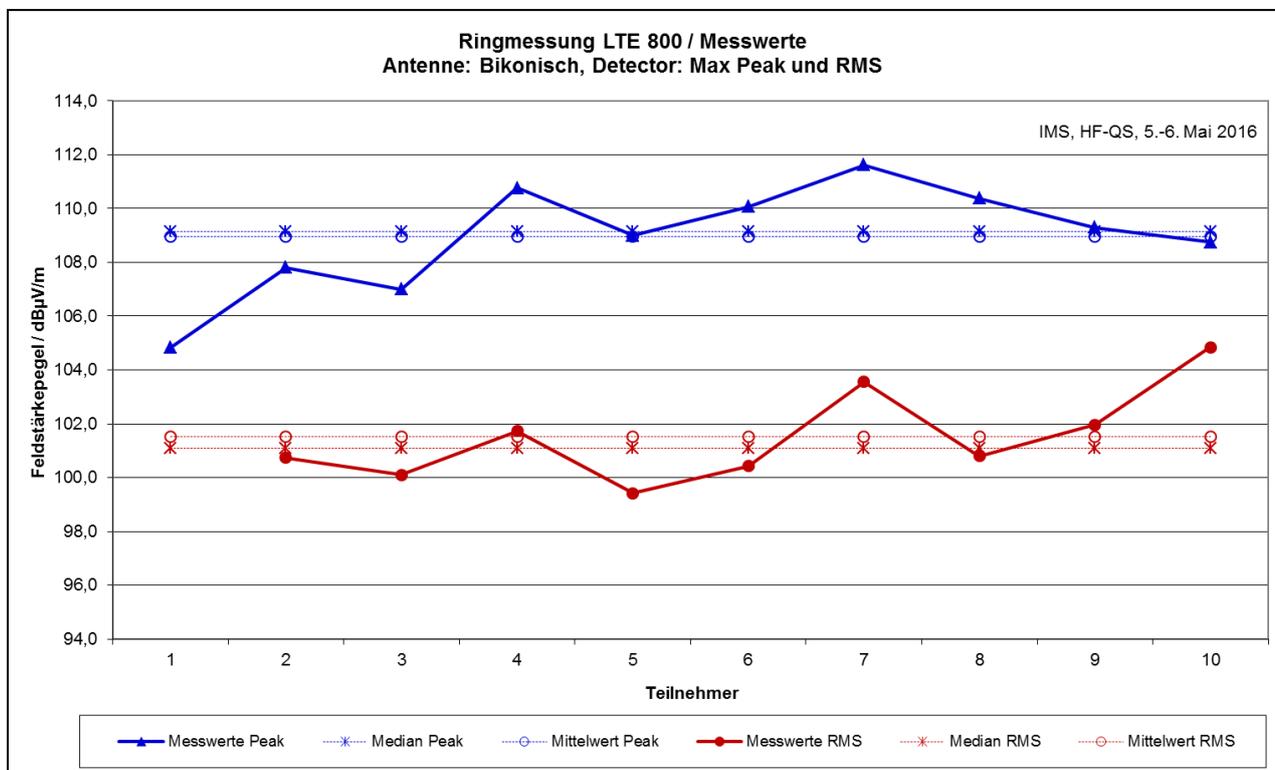
Detector: RMS

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,4 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 mit der Korrektur um 0,4 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur +3,3 dB bzw. -2,1 dB, vom Median der Gruppe +3,7 bzw. -1,7 dB. Dabei fällt Teilnehmer 10 im Vergleich zu den übrigen Teilnehmern etwas aus dem Rahmen.

Mit der Korrektur betragen die höchsten persönlichen Standardabweichungen 1,4 dB (Teilnehmer 10) und 1,1 dB (Teilnehmer 2), die niedrigste persönliche Standardabweichung beträgt 0,2 dB.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern bei beiden Detektoren gleich.

9.3 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]	108,9 – 101,5 = 7,4	109,2 – 101,1 = 8,1

Mit 7,4 bzw. 8,1 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.

9.4 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 μ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	104,8		
2	FSH 3	107,8	100,7	7,1
3	FSH 4	107,0	100,1	6,9
4	FSH 8	110,8	101,7	9,0
5	FSH 8	109,0	99,4	9,6
6	FSH 8	110,1	100,4	9,6
7	FSL 6	111,6	103,6	8,0
8	FSL 6	110,4	100,8	9,6
9	FSL 18	109,3	102,0	7,3
10	FSP 13	108,8	104,8	3,9

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	1,0
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	8,6
Median der Gruppe (o. A.):	9,0
Standardabweichung der Gruppe:	1,8
Mittelwert der Gruppe:	7,9
Median der Gruppe:	8,0

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 ca. 1 bis 1,5 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 mit 3,9 dB sehr niedrige persönliche Crestfaktor von Teilnehmer 10.

9.5 Hochrechnung auf Volllast LTE 800, Filter Sweep

Detector: Max Peak

Als Hochrechnungsfaktor ist hier anzusetzen:

- 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**.
- 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.

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	Antenne Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	Hochrechnungsfaktor dB				
				1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.
1	R 3131	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
2	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
3	FSH 4	SBA 9113 B	367	12,06	12,06	12,06	12,06	0,0
4	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
5	FSH 8	SBA 9113 B	362	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
6	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
7	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
8	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
9	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
10	FSP 13	SBA 9113 B	eigene	13,04	13,00	13,00	13,01	0,0

Der Hochrechnungsfaktor 12,06 von Teilnehmer 3 stellt zwar keine große Abweichung von den korrekten Werten dar, es ist aber aus Gründen der Qualitätssicherung prinzipiell zu hinterfragen, wie diese Abweichung zustande kommt.

Bei Teilnehmer 10 ist die Abweichung schon größer und dazu bei den drei Messungen nicht einheitlich.

Detector: RMS

Als Hochrechnungsfaktor ist hier ebenfalls anzusetzen:

- 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**.
- 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.

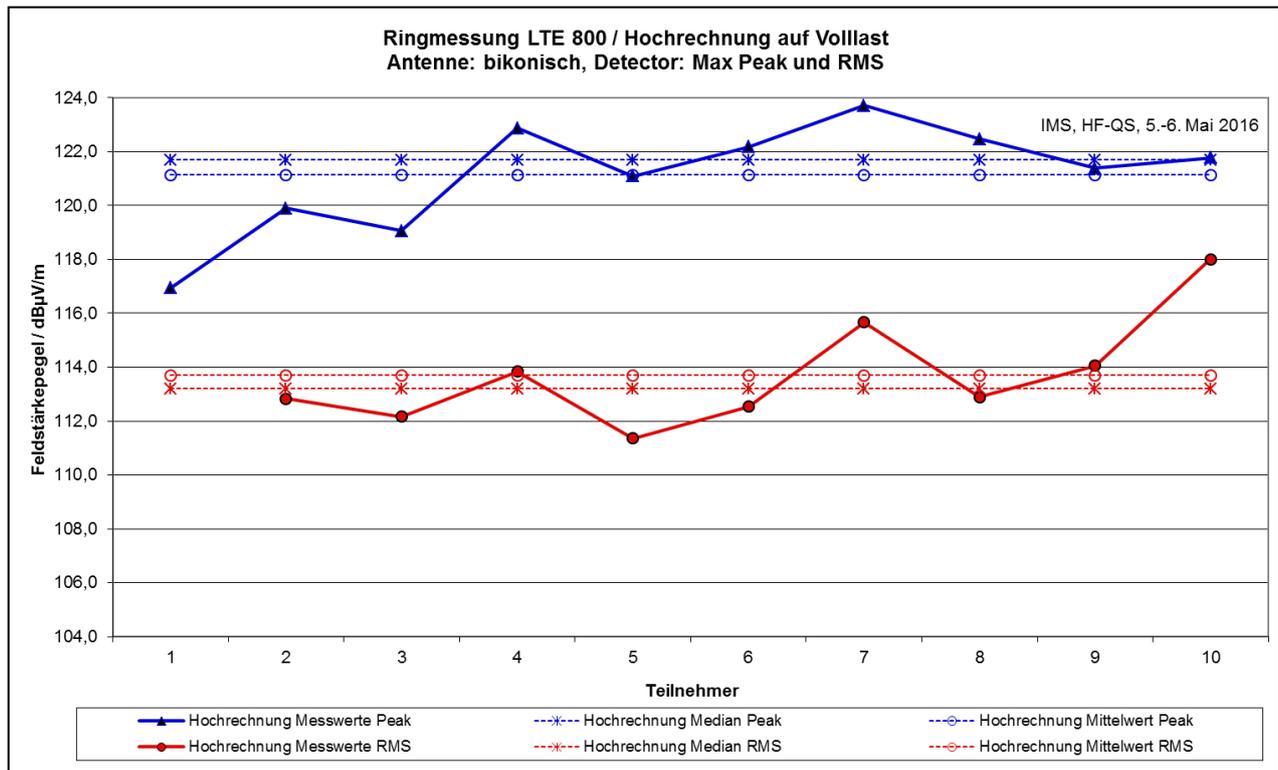
Korrekt sind daher Hochrechnungen mit 12,54 dB und 12,13 dB sowie gerundet mit 12,5 dB und 12,1 dB.

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	Antenne		Hochrechnungsfaktor dB				
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.
1	R 3131							
2	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
3	FSH 4	SBA 9113 B	367	12,06	12,06	12,06	12,06	0,0
4	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
5	FSH 8	SBA 9113 B	362	12,10	11,60	12,10	11,93	0,2
6	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
7	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
8	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
9	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	12,10	12,10	12,10	12,10	0,0
10	FSP 13	SBA 9113 B	eigene	13,47	13,00	13,00	13,16	0,2

Der Hochrechnungsfaktor 12,06 von Teilnehmer 3 stellt auch hier – ebenso wie beim Max Peak-Detector – zwar keine große Abweichung von den korrekten Werten dar, es ist aber aus Gründen der Qualitätssicherung prinzipiell zu hinterfragen, wie diese Abweichung zustande kommt.

Teilnehmer 10 verwendet für die 2. und 3. Messung den gleichen – abweichenden – Hochrechnungsfaktor von 13,0 dB, für die 1. Messung aber einen neuen, leicht unterschiedlichen (13,47 dB).



10 Ringmessung LTE 1815 mit Hochrechnung auf Vollast

10.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die Ringmessung LTE 1815 wurde am 5. Mai 2016 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.

Am Fußboden vor der Glasfront war ein Messpunkt markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

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

Messantenne: SBA 9113 (B), bikonisch

Messgeräteeinstellungen 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 µs abgebildet wird.

Trace: Max Hold

10.2 Messergebnisse LTE 1815, Filter Sweep, RBW 1 MHz

Detector: Max Peak

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,8 dB auf 2,1 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 nur mehr um 0,1 dB statt um 0,6 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur +2,8 dB bzw. - 4,0 dB, vom Median der Gruppe +2,7 bzw. - 4,1 dB.

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,3 dB, die niedrigste 0,2 dB.

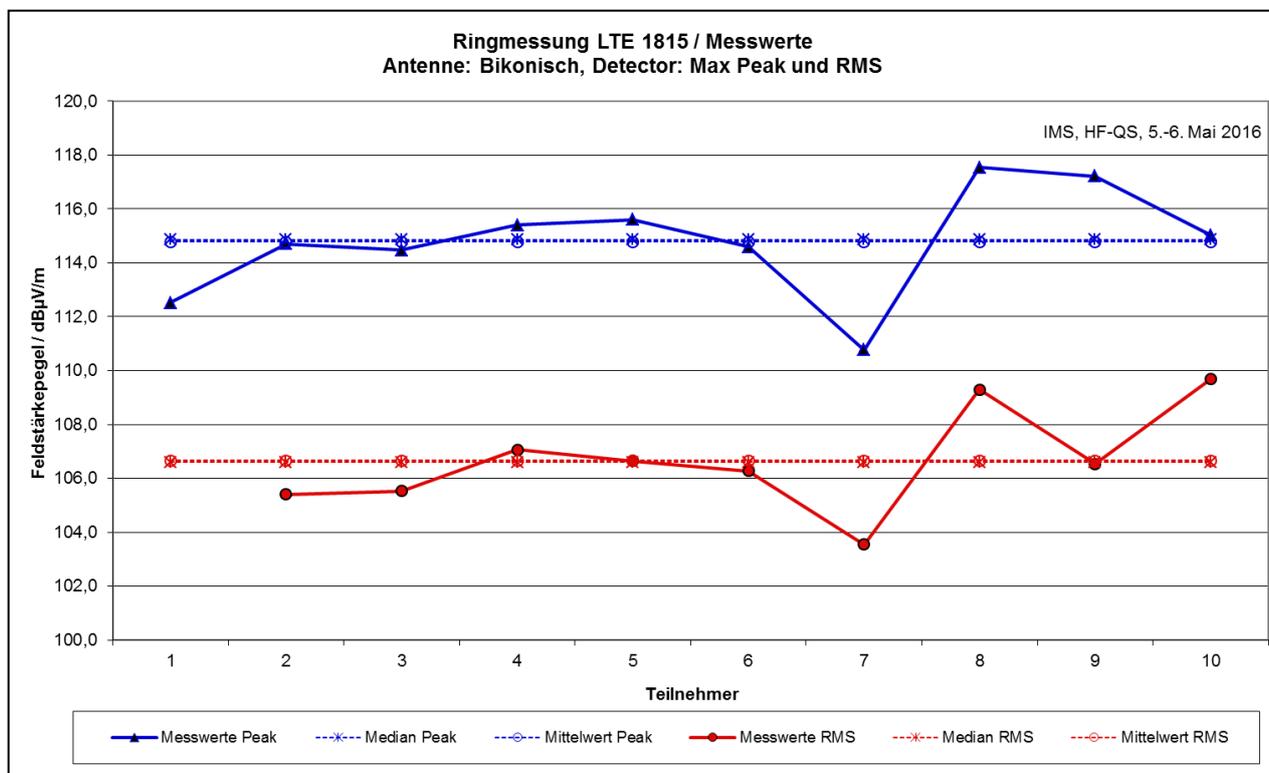
Detector: RMS

Mit Korrekturen der Teilnehmer 6 und 9 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 mit den Korrekturen lediglich um 0,1 dB statt um 0,4 dB.

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

Ohne Ausreißer und mit Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,3 dB, die niedrigste 0,2 dB.



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern bei beiden Detektoren gleich.

10.3 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.

	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	114,8 – 106,7 = 8,1	114,9 – 106,6 = 8,3

Mit 8,1 bzw. 8,3 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.

10.4 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 μ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	112,5		
2	FSH 3	114,7	105,4	9,3
3	FSH 4	114,5	105,5	8,9
4	FSH 8	115,4	107,1	8,3
5	FSH 8	115,6	106,6	9,0
6	FSH 8	114,6	106,3	8,3
7	FSL 6	110,8	103,5	7,2
8	FSL 6	117,5	109,3	8,2
9	FSL 18	117,2	106,5	10,7
10	FSP 13	115,0	109,7	5,3

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

0,9

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

8,8

Median der Gruppe (o. A.):

8,6

Standardabweichung der Gruppe:

1,4

Mittelwert der Gruppe:

8,4

Median der Gruppe:

8,3

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 8,8 dB (Mittelwert) bzw. 8,6 dB (Median) um 1,2 bzw. 1,4 dB unterhalb der anzusetzenden 10 dB und nur ca. 0,5 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

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

Ebenso wie bei LTE 800 ist auch hier der Ausreißer von Teilnehmer 10 mit 5,3 dB auffällig.

10.5 Hochrechnung auf Volllast LTE 1815, Filter Sweep

Detector: Max Peak

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.

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	Antenne		Hochrechnungsfaktor				
		Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std. Abw.
1	R 3131	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
2	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
3	FSH 4	SBA 9113 B	367	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
4	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
5	FSH 8	SBA 9113 B	362	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
6	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
7	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
8	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
9	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
10	FSP 13	SBA 9113 B	eigene	16,00	16,00	16,00	16,00	0,0

Positiv fällt auf, dass auch Teilnehmer 3 hier einen korrekten Faktor verwendet. Um so mehr stellt sich die Frage, warum dies bei LTE 800 nicht der Fall ist.

Teilnehmer 10 verwendet auch hier einen abweichenden Hochrechnungsfaktor, nun aber zumindest für alle drei Messungen einheitlich.

Detector: RMS

Als Hochrechnungsfaktor ist hier ebenfalls 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.

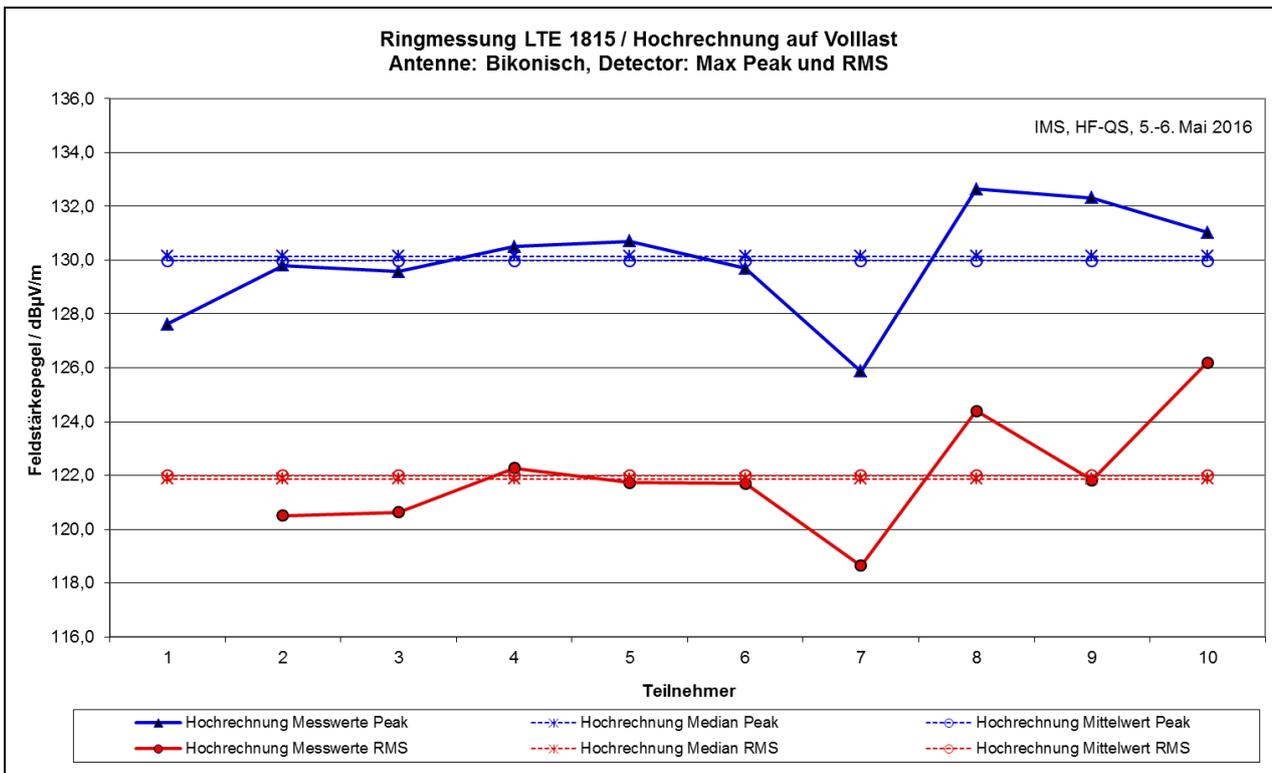
Korrekt sind daher Hochrechnungen mit 15,55 dB und 15,14 dB sowie gerundet mit 15,5 dB und 15,1 dB.

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	Antenne Bezeichnung	eigene bzw. geliehen von	Hochrechnungsfaktor dB				
				1. Messg.	2. Messg.	3. Messg.	persönl. Mittelwert	persönl. Std.Abw.
1	R 3131							
2	FSH 3	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
3	FSH 4	SBA 9113 B	367	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
4	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,40	15,20	0,1
5	FSH 8	SBA 9113 B	362	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
6	FSH 8	SBA 9113 B	eigene	15,10	16,10	15,10	15,43	0,5
7	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
8	FSL 6	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,10	15,10	0,0
9	FSL 18	SBA 9113 B	eigene	15,10	15,10	15,70	15,30	0,3
10	FSP 13	SBA 9113 B	eigene	17,00	16,54	16,00	16,51	0,4

Bei Teilnehmer 9 weicht die Hochrechnung beim 3. Messwert vom korrekten Faktor ab.

Teilnehmer 10 arbeitet auch hier wieder mit abweichenden Hochrechnungsfaktoren, diesmal für jede Messung mit einem unterschiedlichen (bis zu 1 dB Differenz); diese liegen bis zu 1,5 dB resp. 1,9 dB über den korrekten Werten.



11 Ringmessung UMTS FDD

11.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die UMTS-Ringmessung wurde am 5. Mai 2016 im Schulungszentrum der Knauf Bauprodukte, Alte Reichsstraße 35, 97346 Iphofen durchgeführt. Im fensterlosen Trockenbau-Übungsraum war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

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

Die Entfernung zwischen Sendeantenne und Messpunkt betrug 6,20 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

11.2 Messergebnisse UMTS Filter Sweep, RBW 1 MHz

Detector: Max Peak

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,7 dB auf 2,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich ohne Ausreißer und mit der Korrektur nur mehr um 0,1 dB statt um 0,7 dB.

Lässt man Teilnehmer 1 und 10 zunächst einmal außer Acht, so beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe mit der Korrektur +1,4 dB bzw. -1,7 dB, vom Median der Gruppe +1,2 dB bzw. -1,9 dB. Die persönlichen Abweichungen von Teilnehmer 1 liegen mit -4,5 dB bzw. -4,7 dB zwar noch unter -5,0 dB, sind aber im Vergleich zu den übrigen Teilnehmern auffallend hoch, gefolgt von Teilnehmer 10 mit Abweichungen von +3,4 dB resp. +3,2 dB

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,7 dB, die niedrigste 0,3 dB.

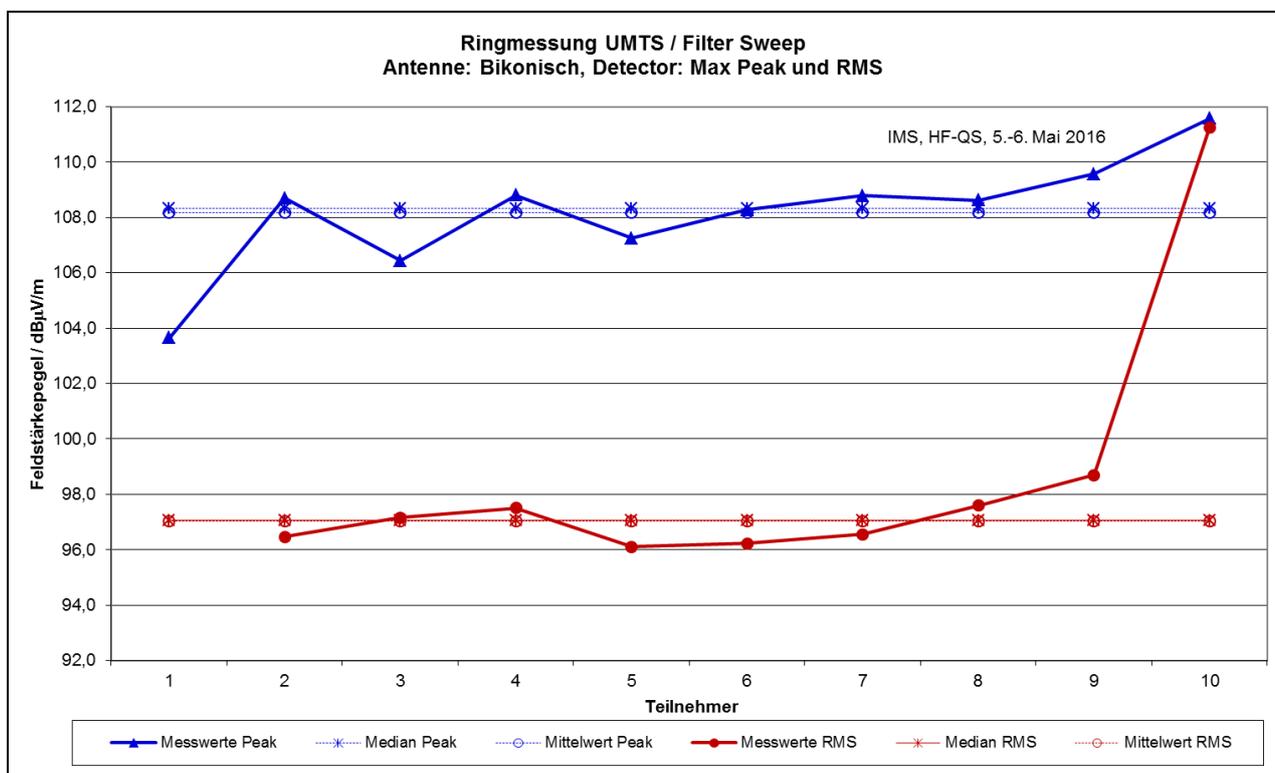
Detector: RMS

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 und ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,2 dB auf 1,0 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 und ohne Ausreißer nur mehr um 0,1 dB statt um 0,9 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit der Korrektur und ohne Ausreißer +1,7 dB bzw. -0,9 dB, vom Median der Gruppe +1,6 dB bzw. -0,9 dB.

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



11.3 Messergebnisse UMTS Channel Power

Detector: Max Peak

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,4 dB auf 1,5 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich mit der Korrektur nur mehr um 0,1 dB statt um 0,7 dB.

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

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,8 dB, die niedrigste weniger als 0,1 dB.

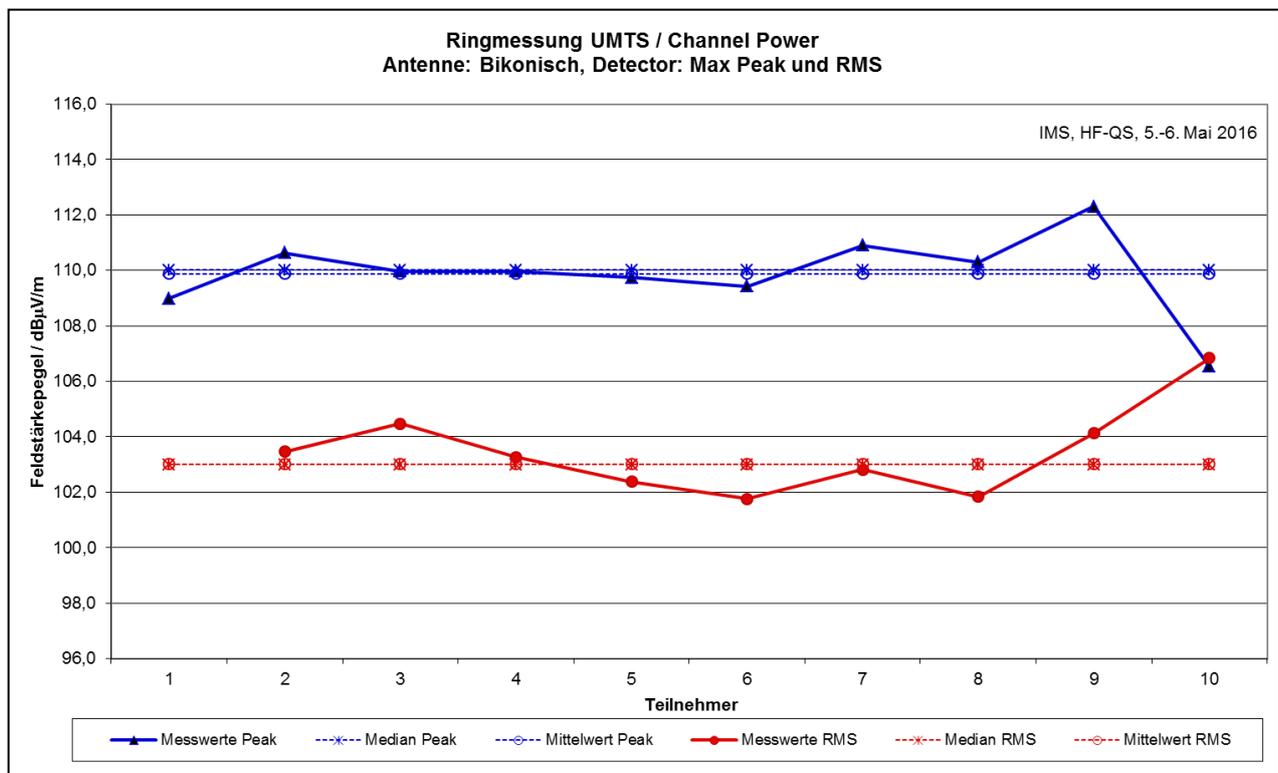
Detector: RMS

Ohne Ausreißer und mit einer Korrektur von Teilnehmer 6 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 2,8 dB auf 1,1 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mittelwert und Median der Gruppe sind ohne Ausreißer und mit der Korrektur identisch.

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

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



Die persönliche Tendenz zu etwas höheren oder niedrigeren Messergebnissen ist bei den meisten Teilnehmern bei beiden Detektoren gleich.

11.4 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]	108,2 – 97,0 = 11,2	108,3 – 97,1 = 11,2

Mit 11,2 dB bezüglich Mittelwert und Median ist der mittels Filter Sweep über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor nahezu identisch mit dem Crestfaktor des Sendesignals von 10,9 dB (Abweichung 0,3 dB).

Channel Power	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	109,9 – 103,0 = 6,9	110,0 – 103,0 = 7,0

Mit 6,9 bzw. 7,0 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.

11.5 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 μ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	103,7		
2	FSH 3	108,7	96,5	12,2
3	FSH 4	106,4	97,2	9,3
4	FSH 8	108,8	97,5	11,3
5	FSH 8	107,2	96,1	11,1
6	FSH 8	108,3	96,2	12,0
7	FSL 6	108,8	96,6	12,2
8	FSL 6	108,6	97,6	11,0
9	FSL 18	109,6	98,7	10,9
10	FSP 13	111,6	111,2	0,3

Die Messergebnisse von Teilnehmer 10 sind für diese Auswertung nicht verwendbar.

Die Crestfaktoren ohne Ausreißer liegen mit 11,3 dB (Mittelwert) bzw. 11,2 dB (Median) sehr nahe an den am Generator eingestellten 10,9 dB und sind identisch mit den aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	0,9
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	11,3
Median der Gruppe (o. A.):	11,2
Standardabweichung der Gruppe:	3,5
Mittelwert der Gruppe:	10,0
Median der Gruppe:	11,1

Channel Power

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB μ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	109,0		
2	FSH 3	110,6	103,5	7,2
3	FSH 4	110,0	104,5	5,5
4	FSH 8	110,0	103,3	6,7
5	FSH 8	109,7	102,4	7,4
6	FSH 8	109,4	101,8	7,7
7	FSL 6	110,9	102,8	8,1
8	FSL 6	110,3	101,8	8,5
9	FSL 18	112,3	104,1	8,2
10	FSP 13	106,5	106,8	-0,3

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

0,9

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

7,4

Median der Gruppe (o. A.):

7,5

Standardabweichung der Gruppe:

2,6

Mittelwert der Gruppe:

6,5

Median der Gruppe:

7,4

Die Messergebnisse von Teilnehmer 10 sind für diese Auswertung nicht verwendbar.

Die Crestfaktoren ohne Ausreißer liegen mit ca. 7,5 dB deutlich um etwa 3,5 dB unter den am Generator eingestellten 10,9 dB; sie sind ca. 0,5 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

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.

11.6 UMTS Codeselektive Messung CPICH

CPICH, RMS

Nach einer Korrektur von Teilnehmer 6 beträgt die Standardabweichung der Gruppe 2,0 dB statt 2,6 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

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

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,1 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.

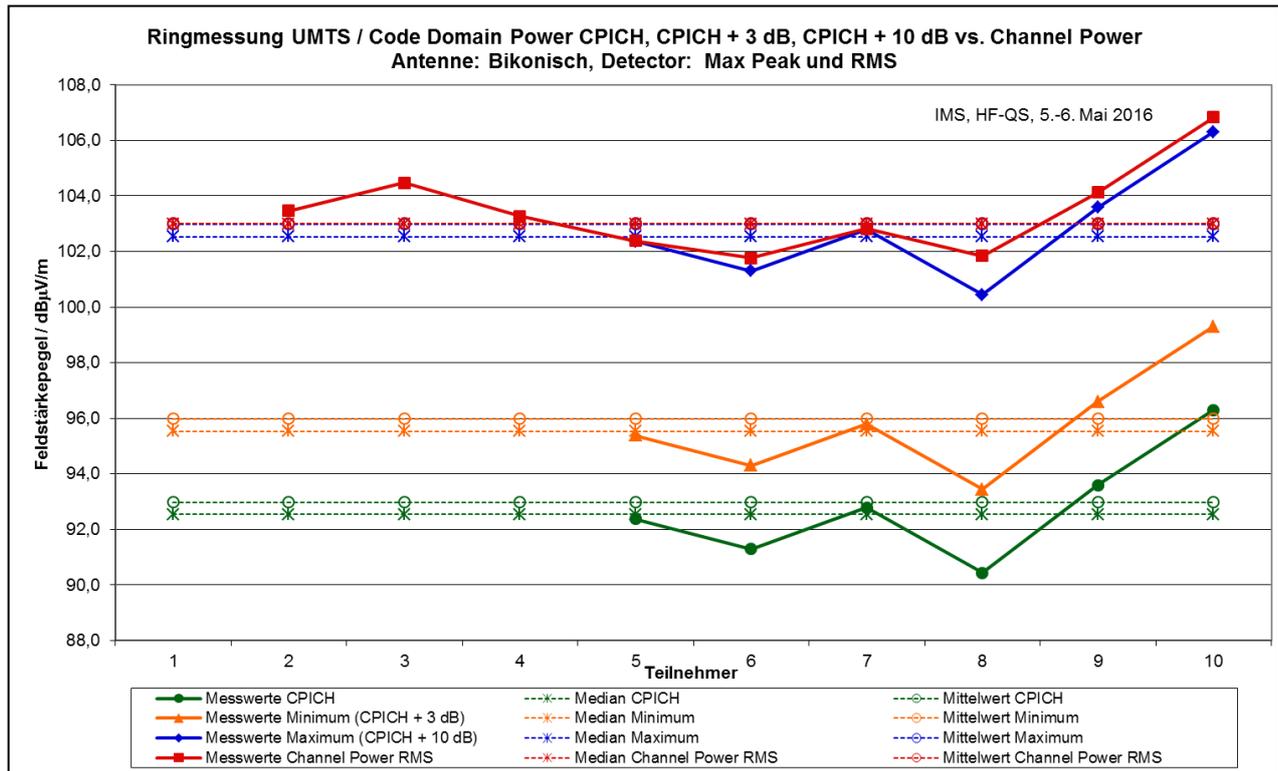
Maximalimmission: CPICH + 10 dB, RMS

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 $(103,0 - 103,0) \text{ dB} = 0,0 \text{ dB}$ (Mittelwert) bzw. $(102,5 - 103,0) \text{ dB} = -0,5 \text{ dB}$ (Median) fast perfekt übereinstimmen und beide Messverfahren im Rahmen der für die Spektrumanalyse typischen Messunsicherheit identische Ergebnisse bringen.

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

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



11.7 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

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

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

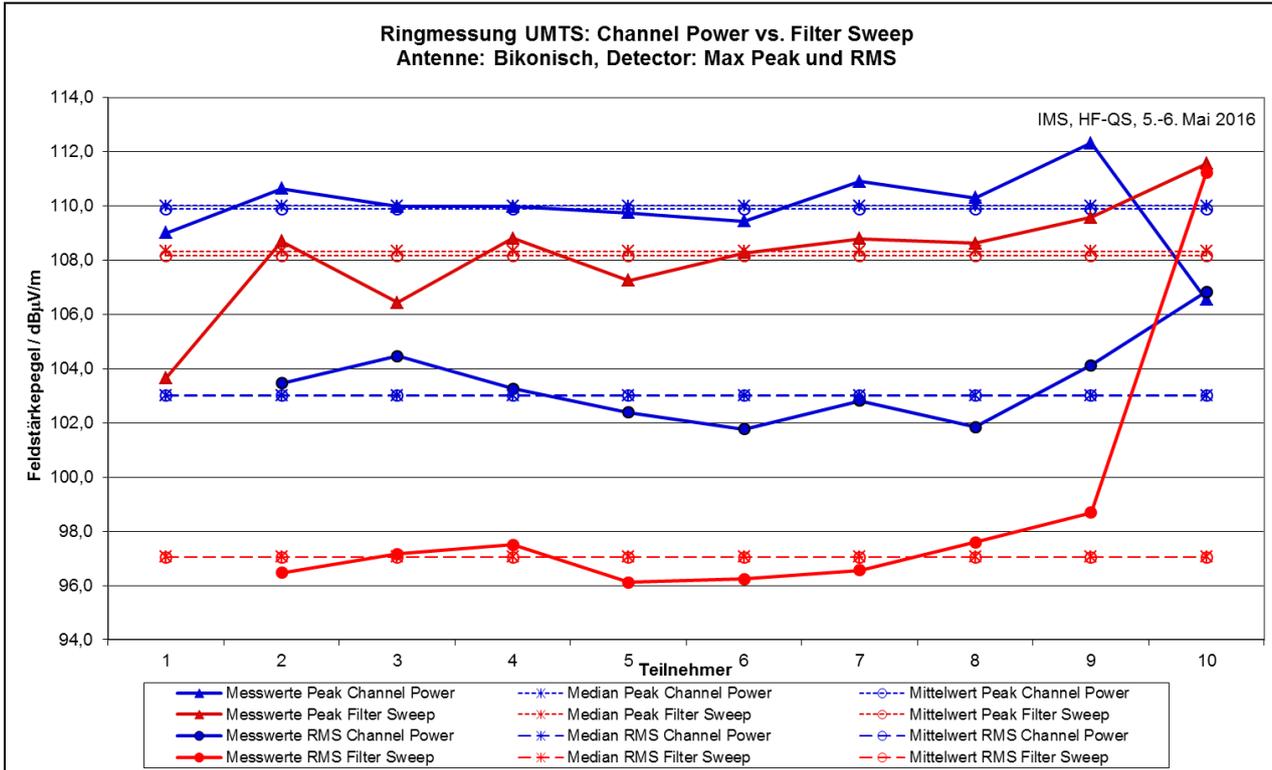
Mit dem Detector Max Peak beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung $109,9 \text{ dB} - 108,2 \text{ dB} = 1,7 \text{ dB}$ (Mittelwert) bzw. $110,0 \text{ dB} - 108,3 \text{ dB} = 1,7 \text{ dB}$ (Median), immerhin also ca. 4 dB weniger.

Diesen Werten kommt der mit Formel b) berechnete Faktor noch am nächsten (Abweichung +3,7 dB für Mittelwert und Median).

Detector RMS

Mit dem Detector RMS beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung $103,0 \text{ dB} - 97,0 \text{ dB} = 6,0 \text{ dB}$ (Mittelwert) bzw. $103,0 \text{ dB} - 97,1 \text{ dB} = 5,9 \text{ dB}$ (Median).

Im Gegensatz zum Detector Max Peak entsprechen beim RMS-Detector diese Werte den berechneten sehr gut; dabei kommt der mit Formel a) berechnete Faktor den Messwerten am nächsten: Die Abweichung beträgt lediglich $-0,2 \text{ dB}$ (Mittelwert) bzw. $-0,1 \text{ dB}$ (Median).



12 Ringmessung DVB-T

12.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die DVB-T-Ringmessung wurde am 6. Mai 2016 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 Compact Modulator SFC, 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 4,5 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 (Max Peak) / 500 ms (RMS)
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

12.2 Messergebnisse DVB-T, Filter Sweep

Detector: Max Peak

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 9 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 1,0 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 nur mehr um 0,1 dB statt um 1,0 dB.

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

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 1,4 dB, die niedrigste 0,2 dB.

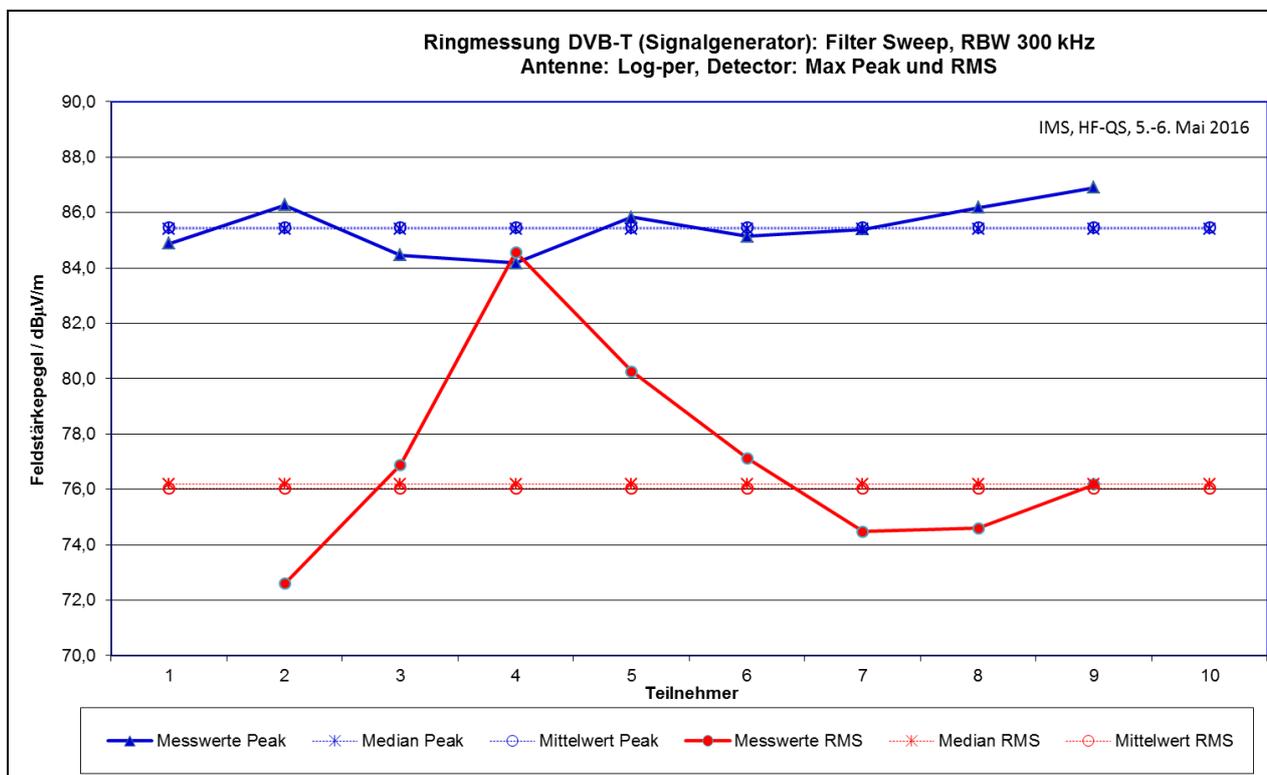
Detector: RMS

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 9 und ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 4,3 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 und ohne Ausreißer nur mehr um 0,2 dB statt um 0,9 dB.

Lässt man Teilnehmer 5 zunächst einmal außer Acht, so beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe mit der Korrektur und ohne Ausreißer +1,1 dB bzw. -3,4 dB, vom Median der Gruppe +0,9 dB bzw. -3,6 dB. Mit +4,2 dB (Mittelwert) bzw. 4,1 dB (Median) liegen die Abweichungen von Teilnehmer 5 zwar noch unter 5,0 dB, fallen aber deutlich höher aus als bei der Mehrheit der Teilnehmer.

Mit der Korrektur und ohne Ausreißer beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,5 dB, die niedrigste 0,2 dB.



12.3 Messergebnisse DVB-T, Channel Power

Detector: Max Peak

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

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich mit der Korrektur nur mehr um 0,1 dB statt um 0,9 dB.

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

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

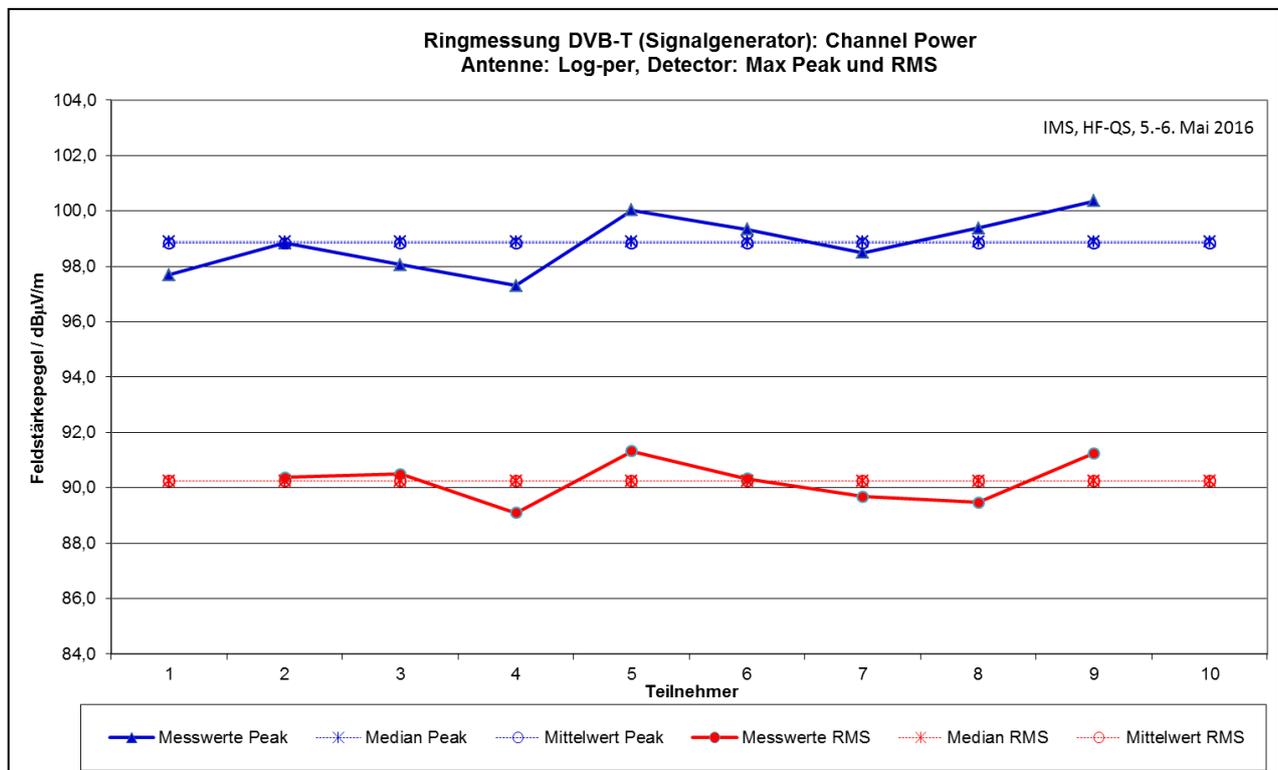
Detector: RMS

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 9 reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,2 dB auf 0,8 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 nur mehr um 0,1 dB statt um 1,1 dB.

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

Mit der Korrektur beträgt die höchste persönliche Standardabweichung 0,5 dB, die niedrigste 0,1 dB.



12.4 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]	85,5 – 76,0 = 9,5	85,4 – 76,2 = 9,2

Mit 9,5 bzw. 9,2 dB liegt der mittels Filter Sweep über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor um 2,5 bis 2,8 dB niedriger als der Crestfaktor des Sendesignals von 12,0 dB.

Channel Power	Mittelwert	Median
Crestfaktor [dB]	98,8 – 90,3 = 8,5	98,9 – 90,2 = 8,7

Mit 8,5 bzw. 8,7 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus (3,5 resp. 3,3 dB) als der Crestfaktor des Sendesignals von 12,0 dB und liegt damit noch ca. 1 dB unter den Crestfaktoren der Filter Sweep-Messungen. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass bei der Messung „over the air“ entweder der Peak-Wert unterbewertet oder der RMS-Wert überbewertet wird, und zwar bei der Channel Power-Messung stärker als beim Filter Sweep

12.5 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 μ V/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	84,9		
2	FSH 3	86,3	72,6	13,7
3	FSH 4	84,5	76,9	7,6
4	FSH 8	84,2	84,6	-0,4
5	FSH 8	85,8	80,3	5,6
6	FSH 8	85,1	77,1	8,0
7	FSL 6	85,4	74,5	10,9
8	FSL 6	86,2	74,6	11,6
9	FSL 18	86,9	76,2	10,7
10	FSP 13			

Die Crestfaktoren ohne Ausreißer liegen mit 10,4 dB (Mittelwert) bzw. 10,8 dB (Median) um 1,6 dB bzw. 1,2 dB unterhalb des am Generator eingestellten Crestfaktors von 12,0 dB.

Sie sind um ca. 1 bis 1,5 dB höher als die aus Mittelwert und Median der Gruppe berechneten Crestfaktoren.

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):	2,1
Mittelwert der Gruppe (o. A.):	10,4
Median der Gruppe (o. A.):	10,8
Standardabweichung der Gruppe:	4,1
Mittelwert der Gruppe:	8,5
Median der Gruppe:	9,4

Channel Power

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dB μ V/m		Crest-faktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	97,7		
2	FSH 3	98,8	90,4	8,5
3	FSH 4	98,1	90,5	7,6
4	FSH 8	97,3	89,1	8,2
5	FSH 8	100,0	91,3	8,7
6	FSH 8	99,3	90,3	9,0
7	FSL 6	98,5	89,7	8,8
8	FSL 6	99,4	89,5	9,9
9	FSL 18	100,4	91,2	9,1
10	FSP 13			

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

0,6

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

8,7

Median der Gruppe (o. A.):

8,8

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.

12.6 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

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

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

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

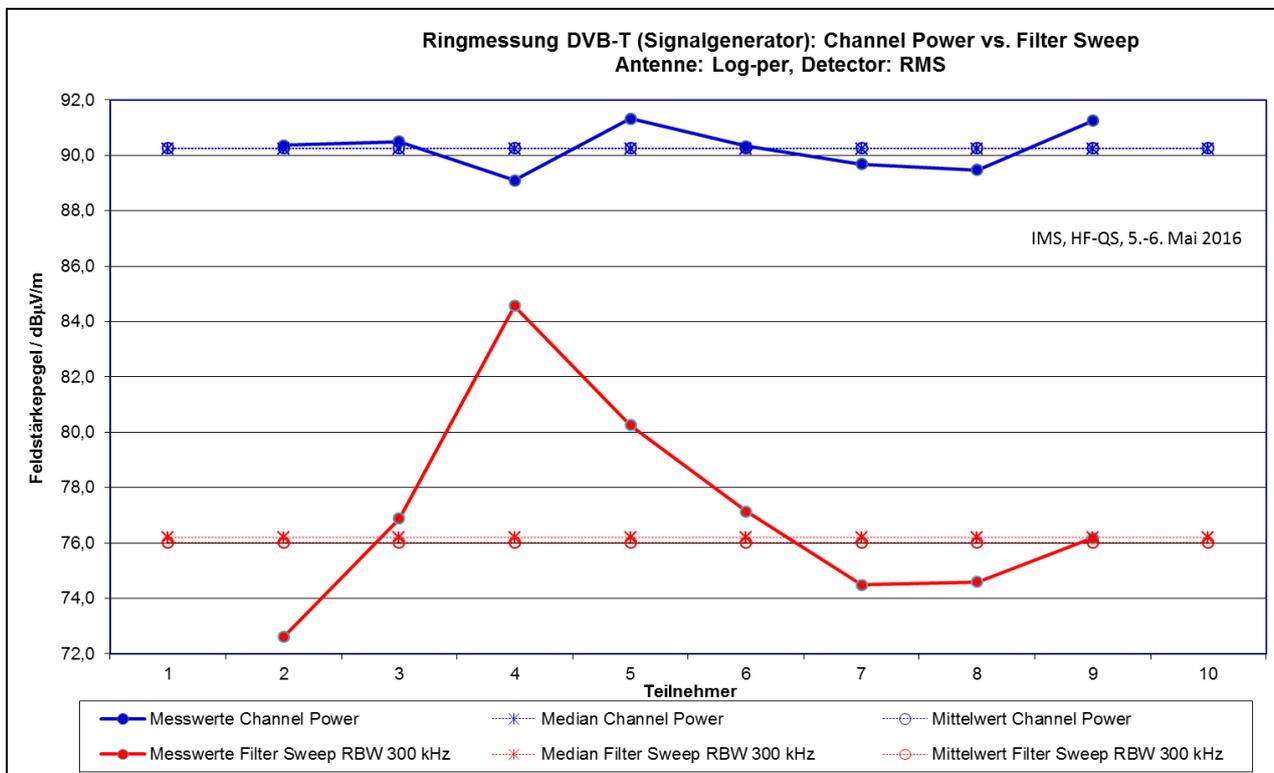
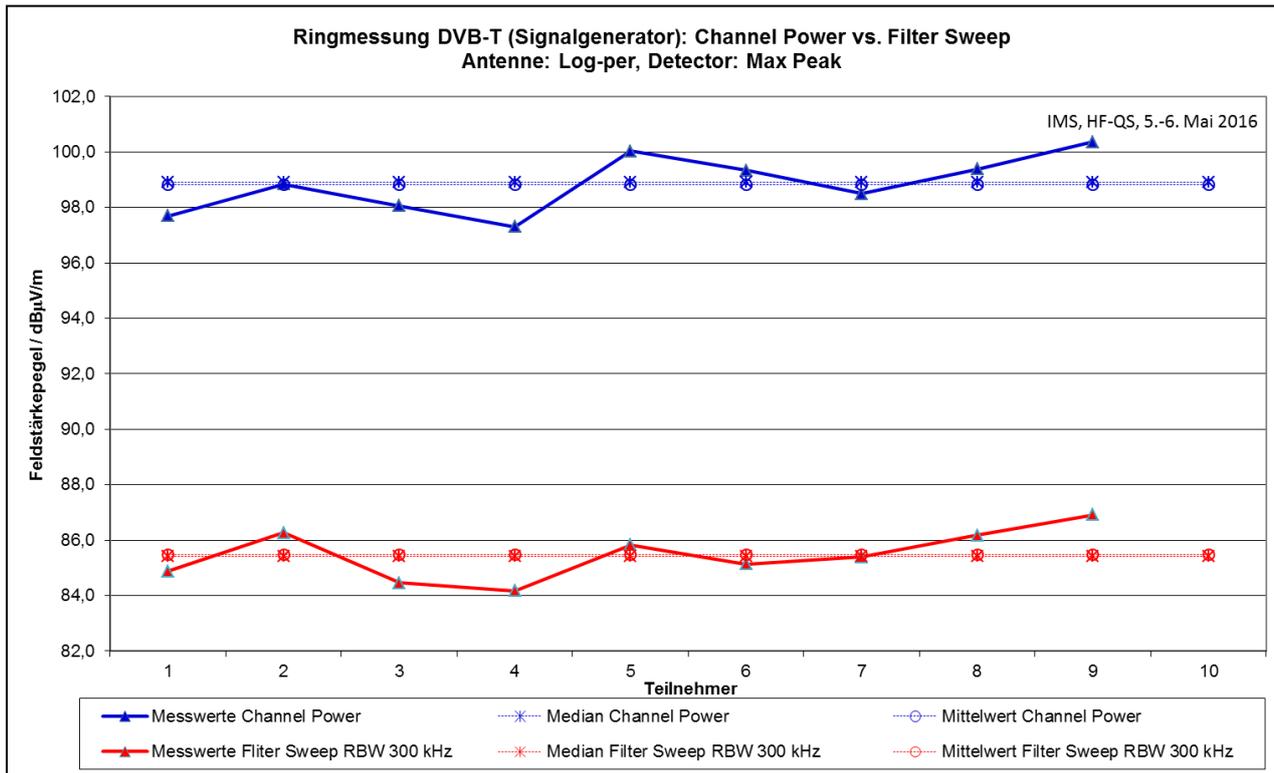
Mit dem Detector Max Peak beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung $98,8 \text{ dB} - 85,5 \text{ dB} = 13,3 \text{ dB}$ (Mittelwert) bzw. $98,9 \text{ dB} - 85,4 \text{ dB} = 13,5 \text{ dB}$ (Median).

Diesen Werten kommt der mit Formel b) berechnete Faktor am nächsten (Abweichung $-0,5 \text{ dB}$ bzw. $-0,3 \text{ dB}$).

Detector RMS

Mit dem Detector RMS beträgt die Differenz zwischen Channel Power und Filter Sweep-Messung $90,3 \text{ dB} - 76,0 \text{ dB} = 14,3 \text{ dB}$ (Mittelwert) bzw. $90,2 \text{ dB} - 76,2 \text{ dB} = 14,0 \text{ dB}$ (Median).

Im Gegensatz zum Detector Max Peak kommt beim RMS-Detector diesen Werten der mit Formel a) berechnete Faktor am nächsten (Abweichung $0,0 \text{ dB}$ bzw. $-0,3 \text{ dB}$).



13 Ringmessung DECT Schnurlostelefon

13.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die DECT-Ringmessung erfolgte am 6. Mai 2016 im Flur 1. OG vor dem großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen.

Im Flur 1. OG war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Die Messentfernung zur HF-Signalquelle (DECT-Basisstation hagenuk clou 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 (Max Peak) / 1 s (RMS)

Trace: Max Hold

13.2 Messergebnisse DECT, Filter Sweep

Filter Sweep, Detector Max Peak, RBW 300 kHz

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

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,1 dB statt um 1,9 dB.

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

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

Filter Sweep, Detector Max Peak, RBW 1 MHz

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 6,5 dB auf 1,2 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,3 dB statt um 1,9 dB.

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

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

Filter Sweep, Detector RMS, RBW 1 MHz

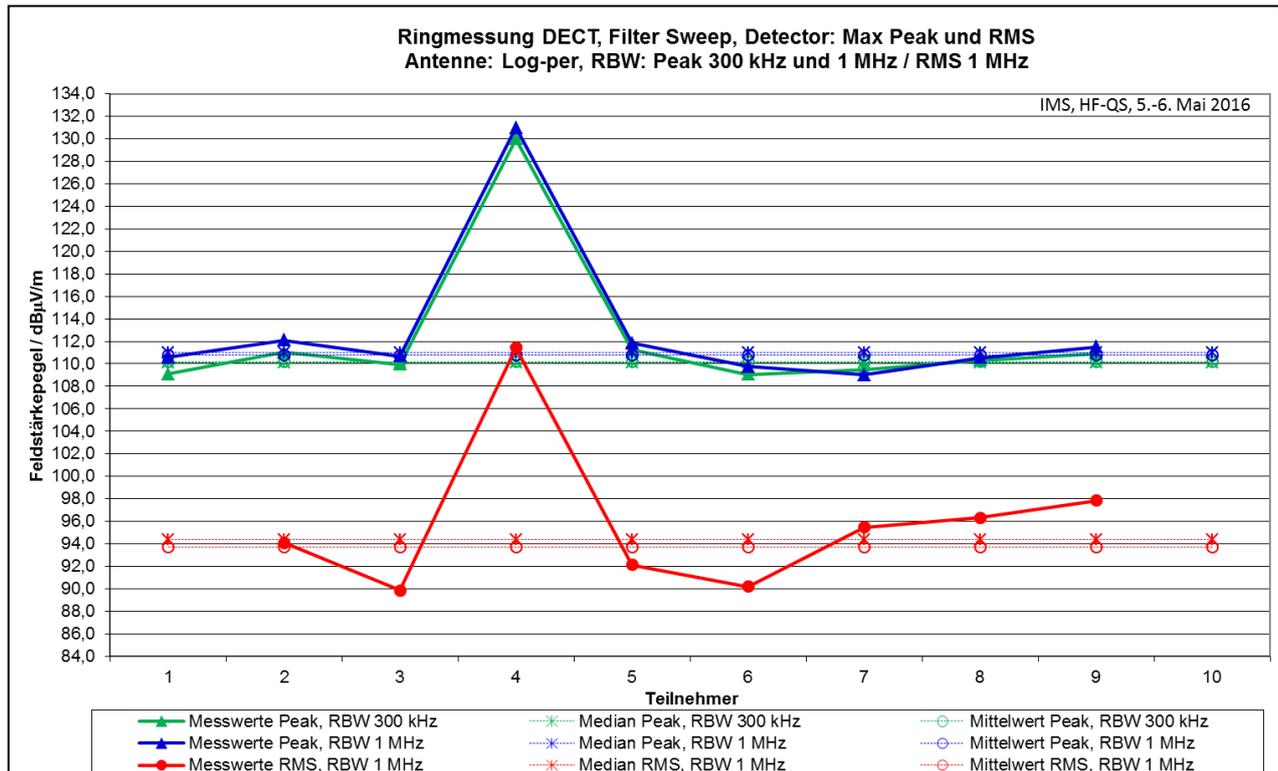
Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 6,5 dB auf 3,0 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,7 dB statt um 1,3 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt ohne Ausreißer +4,1 dB bzw. -3,8 dB, vom Median der Gruppe +3,5 dB bzw. -4,5 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung ohne Ausreißer beträgt 1,9 dB, die niedrigste 0,5 dB.

Insgesamt betrachtet streuen die Messergebnisse recht stark; und zwar nicht nur im Vergleich zu den Ringmessungen anderer Funkdienste bzw. den DECT-Messungen mit Peak-Detector, sondern auch hinsichtlich der persönlichen Standardabweichungen.



13.3 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:

$110,7 \text{ dB} - 110,2 \text{ dB} = 0,5 \text{ dB}$ (Mittelwert) und

$111,0 \text{ dB} - 110,1 \text{ dB} = 0,9 \text{ dB}$ (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.

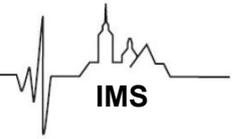
13.4 Vergleich der beiden Messungen mit Detector Max Peak und RMS, RBW 1 MHz

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 631 Sweep Points (FSH 4/8) und der Sweeptime von 1 s beträgt die Dauer pro Pixel 1,58 ms; die Reduzierung durch RMS-Mittelung über diese Dauer entspricht dem Faktor 0,057, entsprechend 12,5 dB. Um eine Mittelung in die Pausen hinein zu vermeiden, wäre eine maximale Sweeptime von $631 \cdot 0,09 \text{ ms} = 56 \text{ ms}$ zulässig.

Bei 501 Sweep Points (FSL, FSP) und der Sweeptime von 1 s beträgt die Dauer pro Pixel 2,0 ms; die Reduzierung durch RMS-Mittelung über diese Dauer entspricht dem Faktor 0,045, entsprechend 13,5 dB. Um eine Mittelung in die Pausen hinein zu vermeiden, wäre eine maximale Sweeptime von $501 \cdot 0,09 \text{ ms} = 45 \text{ ms}$ zulässig.



Bei 301 Sweep Points (FSH 3/6) und der Sweeptime von 1 s beträgt die Dauer pro Pixel 3,3 ms; die Reduzierung durch RMS-Mittelung über diese Dauer entspricht dem Faktor 0,027, entsprechend 15,7 dB. Um eine Mittelung in die Pausen hinein zu vermeiden, wäre eine maximale Sweeptime von $301 \cdot 0,09 \text{ ms} = 27 \text{ ms}$ zulässig.

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 bei RBW 1 MHz beträgt
 $110,7 \text{ dB} - 93,7 \text{ dB} = 17,0 \text{ dB}$ (Mittelwert der gesamten Gruppe) und
 $111,0 \text{ dB} - 94,4 \text{ dB} = 15,6 \text{ dB}$ (Median der gesamten Gruppe).

14 Ringmessung WLAN im Standby (IEEE 802.11 g-Standard)

14.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die WLAN-Ringmessung im Standby erfolgte am 6. Mai 2016 im Flur 1. OG des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einem Linksys Wireless-G Access Point WAP54G-DE.

Im Flur 1. OG war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 4,20 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 (Mittenfrequenz 2.412 MHz) mittels Markierung.

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

Messgeräteeinstellungen Zero Span

Center Frequency: 2.462 MHz
Span: Zero Span
Filterbandbreite RBW: 20 MHz
Videobandbreite VBW: 10 MHz
Detector: Max Peak
Sweep Time: 200 ms
Trace: Max Hold

14.2 WLAN im Standby, Filter Sweep

Detector Max Peak, RBW 1 MHz

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 2,1 dB.

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

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

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 1,6 dB, die niedrigste 0,4 dB.

Detector Max Peak, RBW 10 MHz

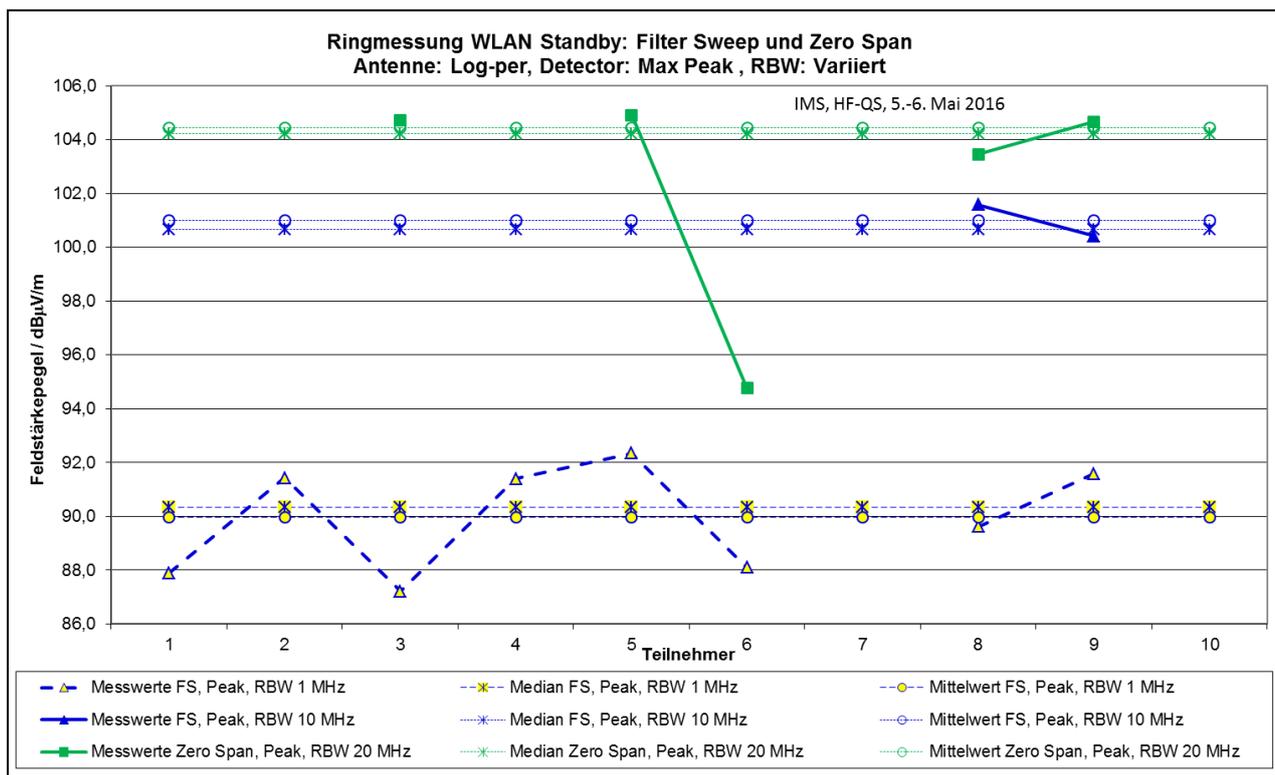
Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 0,8 dB.

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

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

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt 0,8 dB, die niedrigste 0,4 dB.

Man beachte, dass die statistische Aussagekraft dieser Messungen mit nur zwei Teilnehmern nur gering sein kann.



Die Kurven zeigen deutlich die Abhängigkeit der Messergebnisse von der Filterbandbreite RBW. Der korrekte Wert wird mit der RBW 20 MHz im Zero Span ermittelt; er dient als Referenz.

14.3 WLAN im Standby, Zero Span

Detector Max Peak, RBW 20 MHz

Mit einer Korrektur von Teilnehmer 1 (der verwendete Analysator R 3131 verfügt nicht über eine RBW von 20 MHz) und ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,7 dB auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Mit Korrektur und ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe lediglich um 0,2 dB statt 2,5 dB.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt mit Korrektur und ohne Ausreißer +0,5 dB bzw. – 1,0 dB, vom Median der Gruppe +0,7 dB bzw. – 0,8 dB.

Die höchste persönliche Standardabweichung beträgt mit Korrektur und ohne Ausreißer 3,0 dB, die niedrigste 0,6 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	89,9	101,0	104,4
Median	90,3	100,7	104,2

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 20 MHz	3.) Filter Sweep RBW 10 MHz re Zero Span RBW 20 MHz
Mittelwert	89,9 – 101,0 = – 11,1	89,9 – 104,4 = – 14,5	101,0 – 104,4 = – 3,4
Median	90,3 – 100,7 = – 10,4	90,3 – 104,2 = – 13,9	100,7 – 104,2 = – 3,5

Zu 1.):

Die theoretische Differenz der Messergebnisse aus dem Unterschied zwischen RBW 10 MHz und RBW 1 MHz beträgt 10 dB.

Diese Betrachtung gilt 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. Der gemessene Unterschied liegt aber mit 11,1 dB (Mittelwert) und 10,4 dB (Median) recht nahe an den 10 dB.

Allerdings ist zu beachten, dass das WLAN-Standby-Signal noch breiter als 10 MHz ist (ca. 16 MHz). Von daher ist für die Messpraxis der Vergleich mit der Messung im Zero Span und RBW 20 MHz von Bedeutung.

Zu 2.):

Die theoretische Differenz der Messergebnisse aus dem Unterschied zwischen Signalbandbreite (ca. 16 MHz) und Filterbandbreite (RBW 1 MHz) beträgt 12,0 dB (Rauschbandbreite = RBW) bzw. 11,6 dB (Rauschbandbreite = 1,1 · RBW).

Der Vergleich der Messwerte mit RBW 1 MHz/Filter Sweep zeigt überraschenderweise, dass mit Bezug auf die Zero Span-Messungen mit RBW 20 MHz die Unterschiede signifikant höher als die o.a. theoretischen Werte ausfallen, nämlich 14,5 dB (Mittelwert) bzw. 13,9 dB (Median). Eigentlich wäre ein niedrigerer Wert als die theoretische Differenz von 12,0 dB resp. 11,6 dB zu erwarten.

Zu 3.):

Die theoretische Differenz der Messergebnisse aus dem Unterschied zwischen Signalbandbreite (ca. 16 MHz) und Filterbandbreite (RBW 10 MHz) beträgt 2,0 dB (Rauschbandbreite = RBW) bzw. 1,6 dB (Rauschbandbreite = $1,1 \cdot \text{RBW}$).

Auch hier fallen die gemessenen Differenzen mit 3,4 dB bzw. 3,5 dB höher aus als der theoretische Wert.

15 Ringmessung WLAN mit Datentransfer (IEEE 802.11 g-Standard)

15.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen

Die WLAN-Ringmessung erfolgte am 6. Mai 2016 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen, an einer WLAN-Übertragungsstrecke mit den Komponenten Netbook Asus Eee PC 1000 H, Fritzbox 7312 von 1&1 und Notebook Acer Aspire 5755G. Alle WLAN-Komponenten standen unmittelbar nebeneinander in gleicher Entfernung zum Messpunkt.

Vor den WLAN-Komponenten war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

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

15.2 Messergebnisse WLAN mit Datentransfer, Channel Power

Detector Max Peak

Ohne Ausreißer reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 5,6 dB auf 1,3 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

Ohne Ausreißer unterscheiden sich Mittelwert und Median der Gruppe um 0,4 dB statt um 1,3 dB.

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

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

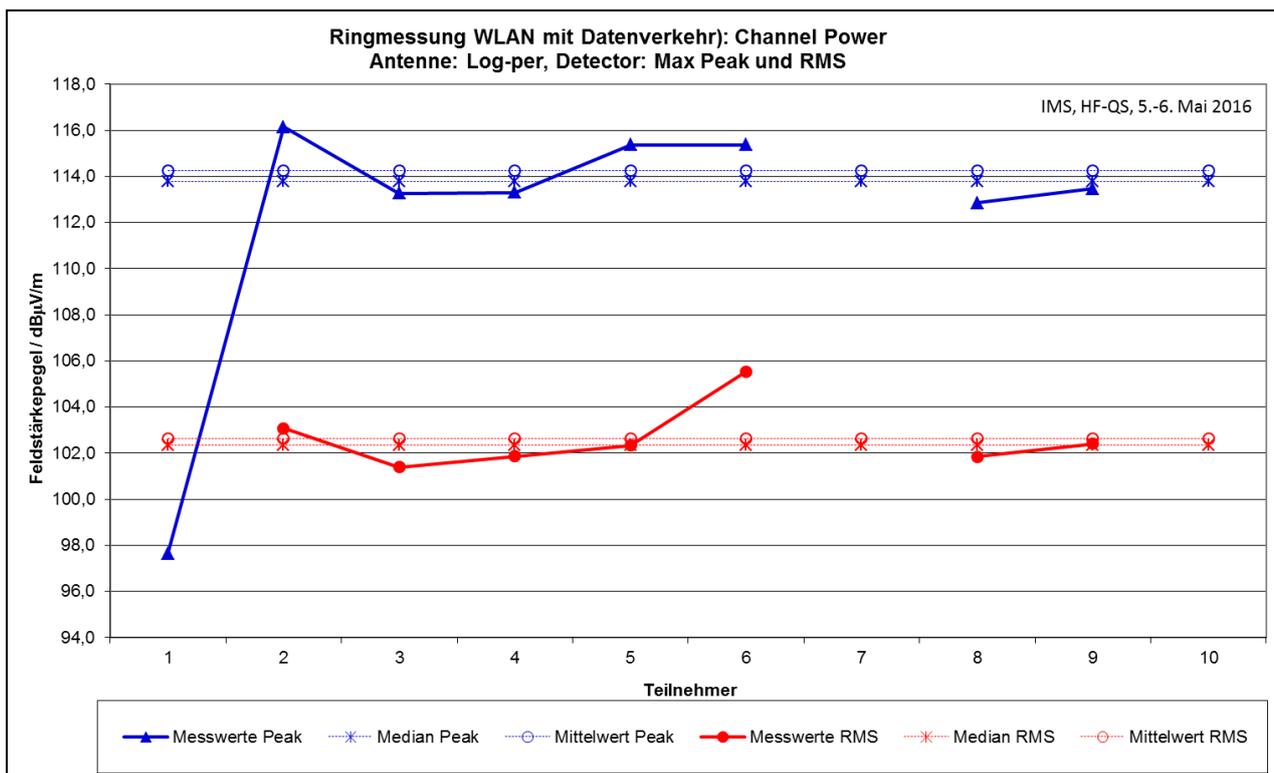
Detector RMS

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,3 dB.

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

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

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



15.3 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]	114,2 – 102,6 = 11,6	113,8 – 102,4 = 11,4

Eine Bewertung ist hier schwer möglich, da der „echte“ Crestfaktor nicht bekannt ist. Mit 11,6 dB bzw. 11,4 dB liegt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor aber sehr gut im zu erwartenden Bereich von 10 bis 12 dB.

15.4 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.

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.

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Feldstärkepegel dBµV/m		Crestfaktor dB
		Peak	RMS	
1	R 3131	97,6		
2	FSH 3	116,1	103,1	13,1
3	FSH 4	113,3	101,4	11,9
4	FSH 8	113,3	101,9	11,4
5	FSH 8	115,4	102,3	13,0
6	FSH 8	115,4	105,5	9,8
7	FSL 6			
8	FSL 6	112,9	101,9	11,0
9	FSL 18	113,5	102,4	11,1
10	FSP 13			

Hier gibt es jedoch keine Ausreißer

Mittelwert (11,6 dB) und Median (11,4 dB) aus den persönlichen Crestfaktoren entsprechen exakt den aus Mittelwert und Median der Gruppe ermittelten Crestfaktoren.

Zur Problematik der Bewertung gilt das oben in Kap. 14.3 Gesagte.

Standardabweichung der Gruppe (o. A.):

1,1

Mittelwert der Gruppe (o. A.):

11,6

Median der Gruppe (o. A.):

11,4

16 Ringmessung Unbekannter Funkdienst (TETRA)

16.1 Randbedingungen / Messgeräteeinstellungen / Messaufgaben und Lösungen

Die Ringmessung TETRA erfolgte am 6. Mai 2016 im großen Saal des Katholischen Pfarrzentrums, Am Stadtgraben West 32, Iphofen.

Signalquelle war ein Generator Rohde & Schwarz Compact Modulator SFC, dessen CW-Trägerfrequenz über einen externen Eingang mit einem analogen TETRA-Hüllkurvensignal amplitudenmoduliert wurde. Das TETRA-Hüllkurvensignal war zuvor an einer TETRA-Basisstation aufgenommen und als wav-Datei gespeichert worden. Es wurde von einem Notebook über die Soundkarte wiedergegeben. Das HF-Signal wurde über eine vertikal polarisierte log-per-Antenne USLP 9143 abgestrahlt, die auf einem Holzstativ montiert war.

Vor der Signalquelle war ein Messpunkt am Boden markiert, oberhalb dessen die Antenne nach der Schwenkmethode zu führen war.

Die Messentfernung zu der HF-Signalquelle betrug 4 m.

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

Messgeräteeinstellungen

Center Frequenz: 434 MHz (Hinweis: Der originale Funkdienst arbeitet auf einer anderen Frequenz)
Span: 5 MHz
Filterbandbreite RBW: siehe unten: Messaufgaben
Videobandbreite VBW: siehe unten: Messaufgaben
Detector: Max Peak und RMS
Sweep Time: 100 ms (Max Peak) / 500 ms (RMS)
Trace: Max Hold

Messaufgaben:

1. Handelt es sich um einen Dauersender oder um einen aktionsgesteuerten Sender?
2. Bestimmen Sie die Signalbandbreite und wählen Sie auf dieser Basis RBW und VBW für die Pegelmessung.
3. Um welchen Funkdienst handelt es sich?
4. Ermitteln Sie die charakteristischen Parameter für die Pulsung (Impulsdauer(n), Pulswiederholfrequenz(en)) usw.
5. Ermitteln Sie die Höhe der Immission mit den Detektoren Max Peak und RMS.

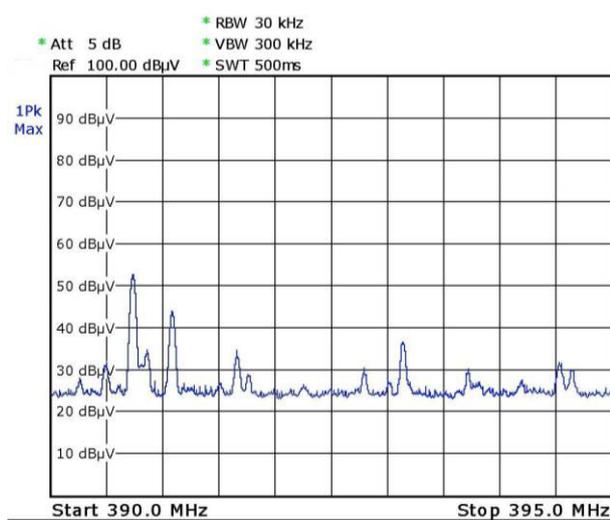
Lösungen zu den Messaufgaben:

1. Dauersender
2. TETRA-Kanalbandbreite = 25 kHz, Signalbandbreite = ca. 20 kHz → RBW = 30 kHz, VBW ≥ 300 kHz. Es ist möglich, dass bei dem hier der Praktikabilität halber verwendeten Aufbau der Signalquelle nicht die volle, originale TETRA-Signalbandbreite erzeugt wurde (vgl. Kap. 15.2).
3. TETRA
4. Pulswiederholfrequenzen:
Periodendauer einzelner Bursts/Zeitschlitze = 14,167 ms → Pulswiederholfrequenz = 70,6 Hz.
Die Doppelbursts (mit doppelter Dauer eines Einzelburst) wiederholen sich einmal pro TETRA-Rahmen, d.h. alle vier Zeitschlitze (Periodendauer = 4 · 14,167 ms = 56,67 ms) → Rahmenwiederholfrequenz = 17,65 Hz. Ca. 36 Hz existieren nur als Oberschwingung von ca. 18 Hz, nicht als eigene Grundschwingung.
5. Siehe nachfolgende Auswertungen in Kap. 15.3.2.

16.2 TETRA: Digitaler Bündelfunk für BOS und Betriebe

Die Abkürzung TETRA steht für *Terrestrial Trunked Radio* (Globaler digitaler Bündelfunk). Im Gegensatz zum öffentlichen Mobilfunk haben hier nur geschlossene Benutzergruppen Zugang zu den Systemen. Typischerweise sind dies gewerbliche Unternehmen mit ihrem Betriebsfunk und die BOS (*Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben*) wie Polizei, Zoll, Feuerwehr, Rettungsdienste und Katastrophenschutz.

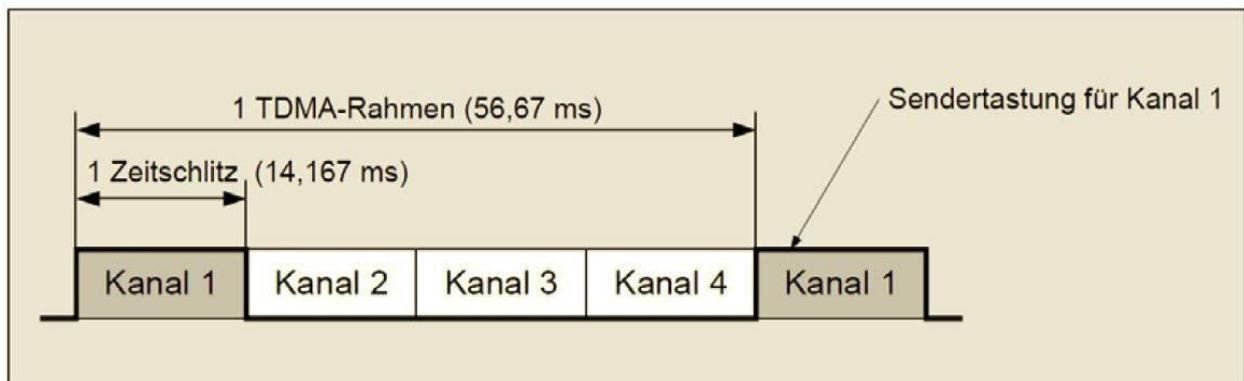
TETRA-Basisstationen arbeiten im Frequenzbereich um 400 MHz (BOS 390-395 MHz, kommerzieller Betriebsfunk 425 - 430 MHz). Die Kanalbandbreite beträgt 25 kHz.



Spektrum von TETRA-Basisstationen der BOS im Frequenzbereich 390 MHz bis 395 MHz

TETRA-Signalcharakteristik

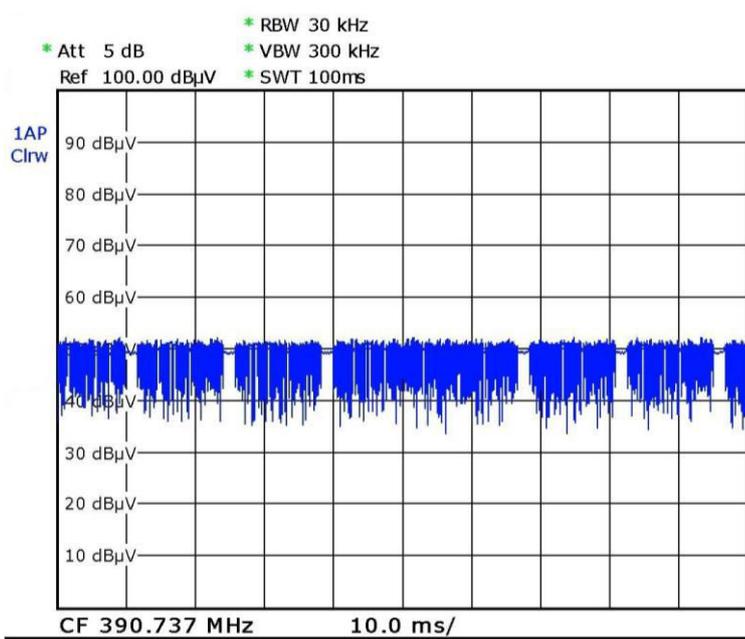
TETRA benutzt – ähnlich wie GSM - als Zugriffsverfahren TDMA (*Time Division Multiple Access*, Zeitmultiplex), allerdings mit vier statt acht Zeitschlitz bei einer Kanalbandbreite von 25 kHz statt 200 kHz und mit einem Phasenmodulationsverfahren, das – wie bei EDGE – mit einer Amplitudenmodulation einhergeht.



Quelle:

Schweizer Bundesamt für Kommunikation (BAKOM): Faktenblatt TETRA, Version 1.4; Bern (2001)

Der Crestfaktor beträgt typischerweise ca. 3 dB – wie bei EDGE auch. TETRA weist aber nicht die klassischen Pulsform wie GSM auf, denn statt einer Trägerabsenkung auf null zwischen den Zeitschlitz verläuft hier das Signal – wie die folgende Abbildung zeigt – auf einem konstanten Pegel kurz unterhalb der oberen Aussteuerungsgrenze.

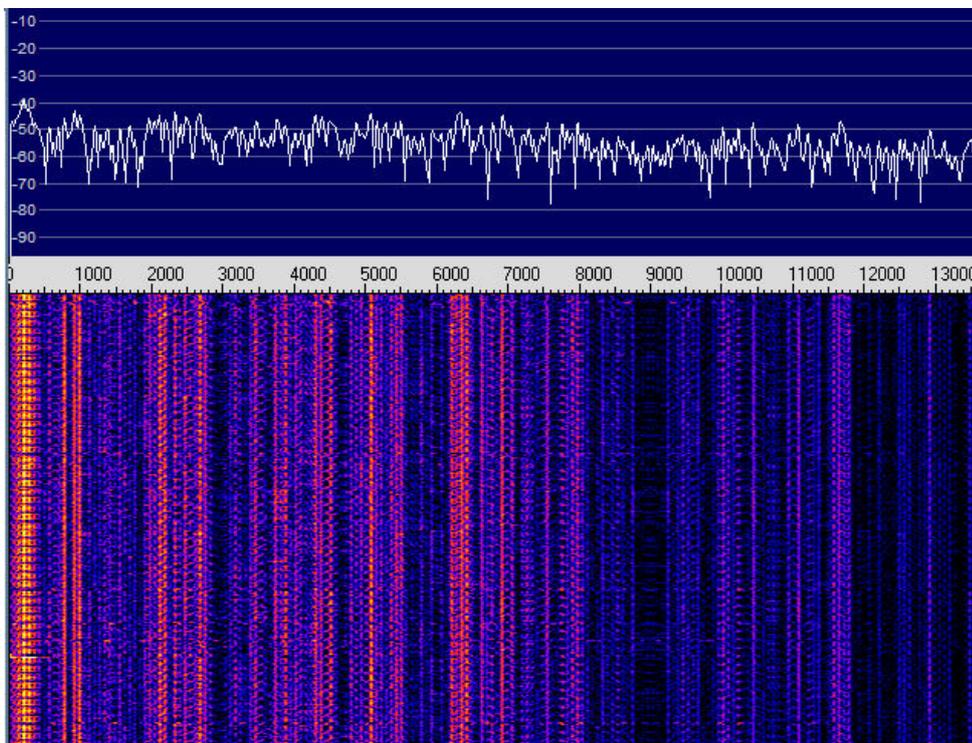


MCCH (Main Control Channel), sozusagen der „Organisationskanal“ einer TETRA-Basisstation, der von der Funktion her dem BCCH (Broadcast Control Channel) bei GSM entspricht (Zeitdarstellung im Zero Span).

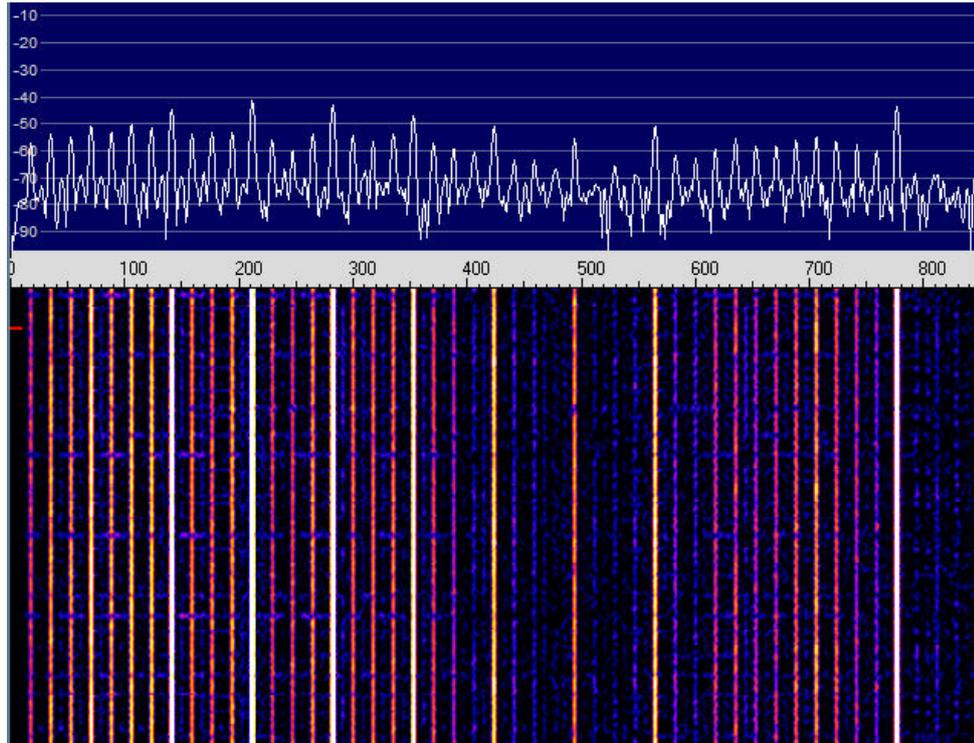
Eine Rasterteilung der Zeitachse entspricht 10 ms, die Sweeptime beträgt demnach 100 ms.

Detector: Auto Peak

Die Dauer eines TETRA-Zeitschlitzes beträgt 14,167 ms, die Dauer eines TETRA-Rahmens mit vier Zeitschlitzes beträgt 56,67 ms. Da abwechselnd immer zwei Zeitschlitzes voneinander getrennt (Periodendauer = Zeitschlitzlänge) und zwei Zeitschlitzes miteinander verbunden (Periodendauer = Rahmenlänge = 4 · Zeitschlitzlänge) gesendet werden, ergeben sich hieraus periodische Pulsfrequenzen von 70,6 Hz (Zeitschlitz) und 17,6 Hz (Rahmen).



FFT-Spektrum und Spektrogramm eines TETRA-Signals bis 13 kHz



FFT-Spektrum und Spektrogramm eines TETRA-Signals bis 900 Hz; der Abstand der Spektrallinien beträgt 17,6 Hz, was auf eine entsprechende periodische Pulsung hinweist.

Messung von TETRA-Signalen

Zur Messung von TETRA-Signalen werden hier nachfolgend die Ausführungen aus dem Bericht „Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken“ von IMST und em-institut zitiert. Die Messungen wurden an einem TETRA-Signalgenerator per Kabelverbindung vorgenommen, nicht über die Luftschnittstelle.

Quelle:

Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH; Markus Schubert, IMST GmbH; Prof. Dr. Matthias Wuschek, em-institut GmbH: Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken; Zwischenbericht „Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik“, erstellt für das Bundesamt für Strahlenschutz, 23. Januar 2012; S. 89, 87, 89-90.

Auflösebandbreite (RBW)

Das TETRA-Signal muss mit einer Auflösebandbreite gemessen werden, die mindestens so groß wie die Signalbandbreite ist, da es ansonsten zu einer Unterbewertung der Immission kommt. Dies ist in Bild 3.51 gezeigt, in dem die Ergebnisse zweier TETRA-Messungen mit zwei unterschiedlichen Bandbreiten dargestellt sind. Am Generator war eine Signalfrequenz von 392 MHz und ein Pegel von -20 dBm eingestellt. Größere Auflösebandbreiten als 30 kHz sind nicht sinnvoll, da bei deren Verwendung frequenzmäßig eng benachbarte Signale nicht mehr separiert werden können.

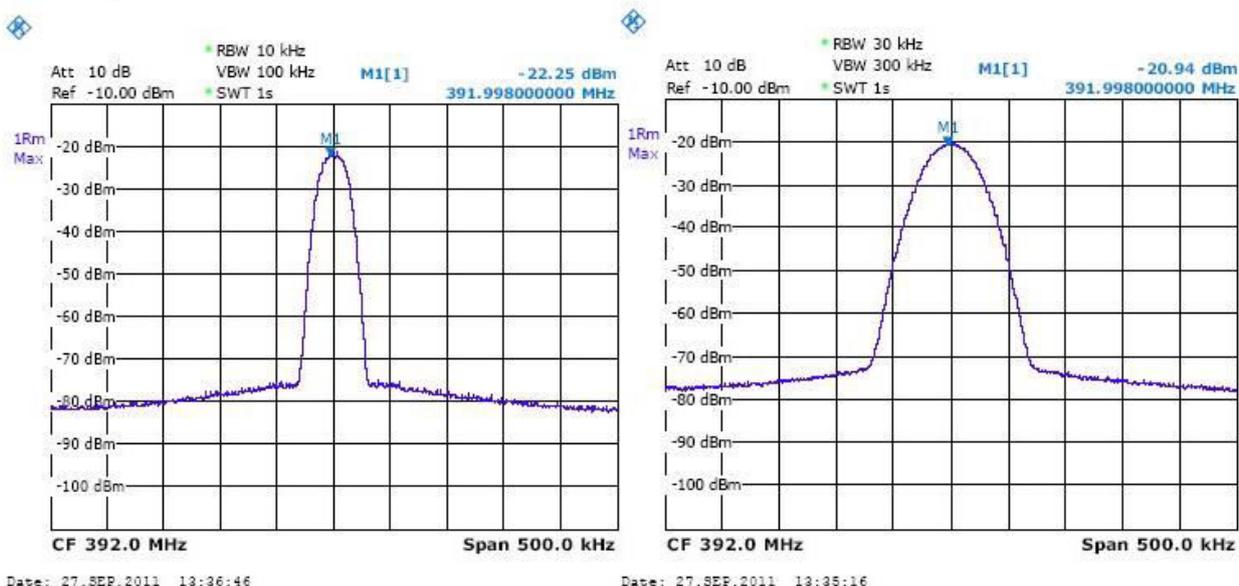


Bild 3.51 Spektrale Messung eines TETRA-Signals mit dem FSL-6; Ergebnis bei einer RBW von 10 kHz (links) bzw. 30 kHz (rechts). Markerwerte: -22,25 dBm (links), -20,94 dBm (rechts).

Aus Bild 3.51 ist ersichtlich, dass die mit einer Auflösebandbreite von 10 kHz gemessenen Werte im Vergleich zur korrekten Messbandbreite (30 kHz) etwa 1,3 dB zu niedrig sind. Daher sollte eine Auflösebandbreite von 10 kHz nur dann verwendet werden, wenn das TETRA-Spektrum so dicht belegt ist, dass eine vernünftige Trennung der einzelnen Signale mit einer RBW von 30 kHz nicht mehr vernünftig möglich ist. Allerdings sollte dann die leichte Unterbewertung durch einen Zuschlag entsprechend korrigiert werden.

Detector Peak/RMS

Bild 3.48 zeigt das Ergebnis der spektralen Messung eines TETRA-Signals, in der ein Vergleich zwischen Peak- und RMS-Detektor vorgenommen wurde. Am Generator war ein TETRA-Signal der Frequenz 392 MHz mit einem Pegel von -20 dBm eingestellt. Offensichtlich liefert der RMS-Detektor (bei Berücksichtigung der Kabeldämpfung) zwischen Generator und Analysator) den korrekten Leistungswert, während die Verwendung des Peak-Detektors zu einer Überbewertung von etwas mehr als 3 dB führt. Die Fehlbewertung liegt also - wie zu erwarten - in der Größenordnung des Crestfaktors.

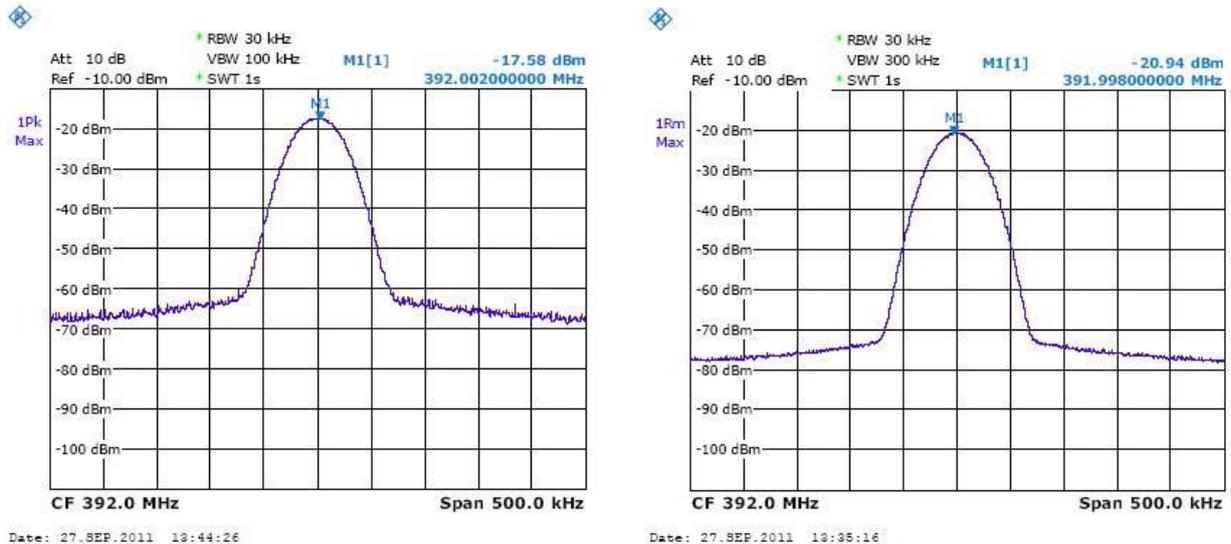


Bild 3.48 Spektrale Messung eines TETRA-Signals mit dem FSL-6; Messwert bei Verwendung des Peak-Detektors (links): -17,58 dBm; Messwert bei Verwendung des RMS-Detektors (rechts): -20,94 dBm. Eingestellt war eine Generatorausgangsleistung von -20 dBm.

Sweeptime (SWT)

Ein sehr wichtiger und bei nicht korrekter Auswahl fehlerträchtiger Aspekt bei Verwendung des RMS-Detektors gängiger Laboranalysatoren ist die Einstellung einer angepassten Sweeptime (SWT). Grundsätzlich wird man bei der Messung von TETRA-Signalen bestrebt sein, eine möglichst kurze Sweeptime am Gerät einzustellen, damit eine möglichst große Anzahl an Messungen pro Sekunde vorgenommen wird, was insbesondere bei der Schwenkmethode eine möglichst dichte Abtastung des Messvolumens ermöglicht.

Wie allerdings bereits in Abschnitt 3.2.2.1 dargelegt, führt eine zu geringe Sweeptime zu einer unvollkommenen RMS-Glättung, wodurch aufgrund der üblicherweise gewählten Max-Hold-Betriebsart eine nicht unerhebliche Überschätzung der Exposition verursacht werden kann. In Bild 3.52 wird dieser Effekt dargestellt. Am Generator war ein TETRA-Signal der Frequenz 390,8875 MHz mit einem Pegel von -40 dBm eingestellt.

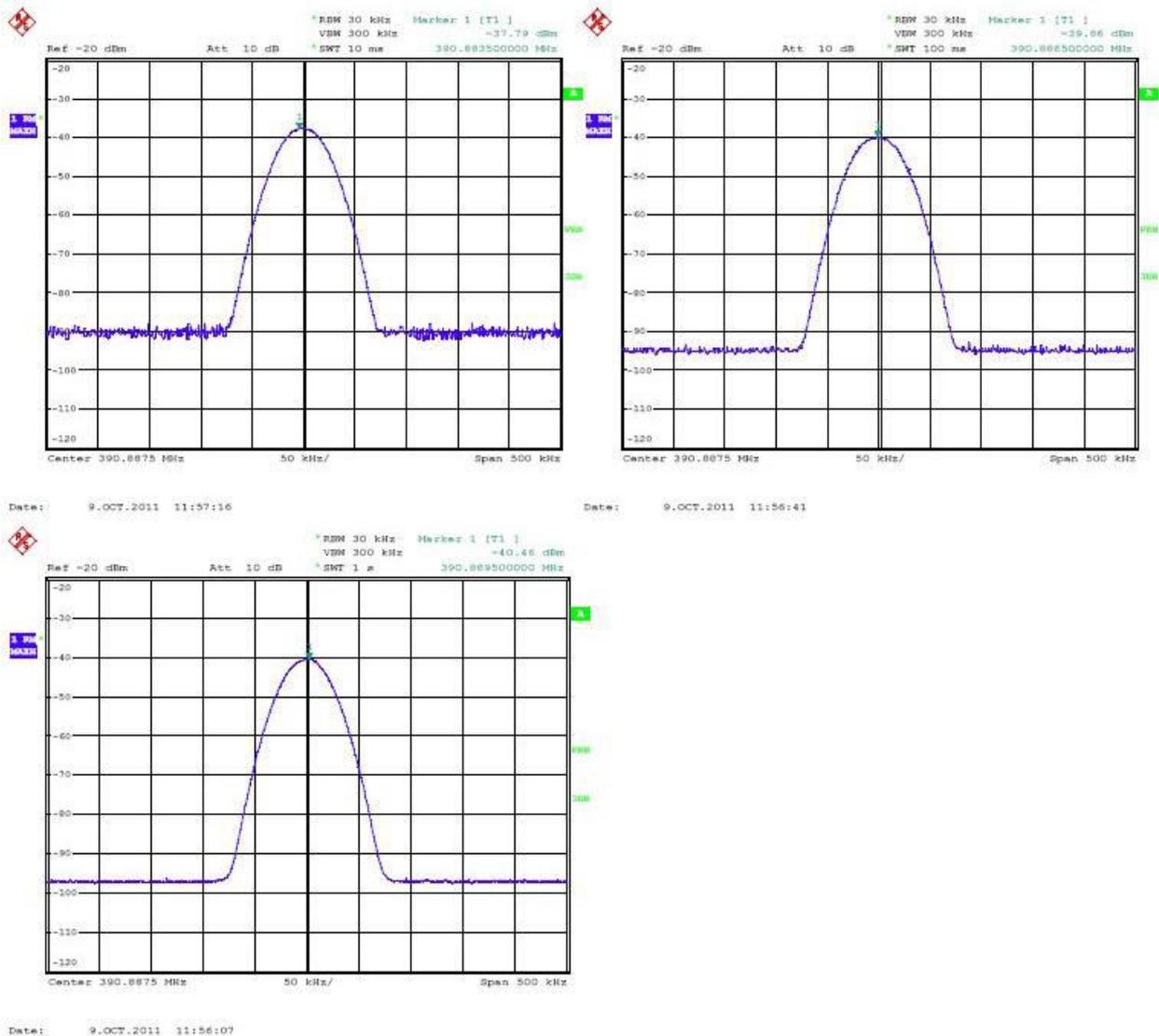


Bild 3.52 Spektrale Messung eines TETRA-Signals mit dem ESPI-3; Messung mit RMS-Detektor und einer Sweeptime von 10 ms (oben links), 100 ms (oben rechts) bzw. 1 s (unten). Markerwerte: -37,79 dBm (oben links), -39,86 dBm (oben rechts) und -40,46 dBm (unten).

Gegenüber der Sweeptime von 1 s ist bereits bei einem Wert von 100 ms eine leichte Vergrößerung des Messwertes um etwa 0,6 dB zu beobachten. Verkleinert man die Sweeptime nochmals um den Faktor 10, so ergibt sich eine Überbewertung um mehr als 2,5 dB. Die Sweeptime von 100 ms stellt bei dem hier verwendeten Analysator (ESPI-3) offensichtlich einen guten Kompromiss aus Messgeschwindigkeit und zuverlässiger RMS-Glättung dar. Allerdings sollte die Sweeptime keinesfalls kleiner als 100 ms gewählt werden, wenn man eine deutliche Überbewertung der Immission vermeiden will.

16.3 Messergebnisse Unbekannter Funkdienst (TETRA)

16.3.1 Messaufgaben 1 bis 4

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Sender-typ ¹⁾	Sende-frequenz [MHz]	Signal-bandbreite [kHz]	Funk-Standard	Impuls-dauer 1 [ms]	Impuls-dauer 2 [ms]	Impuls-"lücke" [ms]	Puls-frequenz 1 [Hz]	Puls-frequenz 2 [Hz]	RBW	VBW
1	R 3131	D	434	60	TETRA	14	56		71,43	17,86	100 kHz	1 MHz
2	FSH 3	D	434	10		14	56				30 kHz	100 kHz
3	FSH 4	D	434	30	TETRA	14,4	28,2	2,38			30 kHz	300 kHz
4	FSH 8	D	434	1		14	28 / 56		72	36 / 18	3 kHz	10 kHz
5	FSH 8	D	434	100	TETRA	14	28	1,4		36	30 kHz	30 kHz
6	FSH 8	D	433	30		14			72		100 kHz	1 MHz
7	FSL 6	D	434	100		14	28		72	36	100 kHz	300 kHz
8	FSL 6	D	434		TETRA	14	56		71,43	17,86	30 kHz	300 kHz
9	FSL 18	D	434	30	TETRA						30 kHz	300 kHz
10	FSP 13	D	434		TETRA	14,2				70,4	100 kHz	1 MHz

Die Pulsfrequenz von ca. 36 Hz kommt nicht als Grundschwingung vor.

Die RBW soll 30 kHz betragen. Bei dicht belegtem Spektrum sind aber auch 10 kHz möglich; dann sollte allerdings ein Aufschlag von 1,3 dB hinzugerechnet werden (s. Kap 15.2, Abschnitt „Auflösebandbreite (RBW)“). Bei digitalen Signalen soll die VBW grundsätzlich – soweit am Analysator einstellbar – mindestens das Zehnfache der RBW betragen.

16.3.2 Pegelmessung

Messergebnisse

Unbekannter Funkdienst (TETRA), Filter Sweep, Detector Max Peak

Teiln. ID	Spektrum-analysator	Antenne		Feldstärkepegel dB μ 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	242	103,11	103,55	103,22	103,3	0,2	-1,9	-1,9
2	FSH 3	USLP 9143	eigene	104,60	104,50	104,50	104,5	0,0	-0,6	-0,7
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	105,60	106,90	106,20	106,2	0,5	1,1	1,0
4	FSH 8	USLP 9143	242	105,00	104,60	105,20	104,9	0,2	-0,2	-0,3
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	103,31	102,71	102,21	102,7	0,4	-2,4	-2,5
6	FSH 8	USLP 9143	356	106,30	107,20	107,40	107,0	0,5	1,8	1,8
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	105,48	105,49	106,45	105,8	0,5	0,6	0,6
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	106,93	107,04	106,99	107,0	0,0	1,8	1,8
9	FSL 18	USLP 9143	242	105,80	104,77	104,68	105,1	0,5	-0,1	-0,1
10	FSP 13									

Standardabweichung der Gruppe:

1,5

Mittelwert der Gruppe:

105,2

Median der Gruppe:

105,2

Die Standardabweichung der Gruppe beträgt 1,5 dB.

Mittelwert und Median der Gruppe unterscheiden sich nicht.

Die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe beträgt +1,8 dB bzw. -2,4 dB, vom Median der Gruppe +1,8 dB bzw. -2,5 dB.

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

Messergebnisse mit Ausreißern

Unbek. Funkdienst (TETRA), 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	FSH 3	USLP 9143	eigene	103,60	103,40	103,40	103,5	0,1	0,8	-0,2
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	105,70	105,60	105,20	105,5	0,2	2,9	1,8
4	FSH 8	USLP 9143	242	100,10	99,40	98,80	99,4	0,5	-3,2	-4,2
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	95,11	92,01	99,61	95,6	3,1	-7,0	-8,1
6	FSH 8	USLP 9143	356	103,10	104,60	103,30	103,7	0,7	1,0	0,0
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,12	104,86	106,00	105,0	0,8	2,4	1,3
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,29	105,10	104,47	104,6	0,3	2,0	1,0
9	FSL 18	USLP 9143	242	103,70	103,97	103,40	103,7	0,2	1,1	0,0
10	FSP 13									

Standardabweichung der Gruppe:	3,4
Mittelwert der Gruppe:	102,6
Median der Gruppe:	103,7

Messergebnisse ohne Ausreißer

Unbek. Funkdienst (TETRA), 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	FSH 3	USLP 9143	eigene	103,60	103,40	103,40	103,5	0,1	-0,2	-0,5
3	FSH 4	USLP 9143	eigene	105,70	105,60	105,20	105,5	0,2	1,9	1,5
4	FSH 8	USLP 9143	242	100,10	99,40	98,80	99,4	0,5	-4,2	-4,5
5	FSH 8	USLP 9143	eigene	95,11	92,01	99,61	95,6	3,1	-8,0	-8,4
6	FSH 8	USLP 9143	356	103,10	104,60	103,30	103,7	0,7	0,0	-0,3
7	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,12	104,86	106,00	105,0	0,8	1,4	1,0
8	FSL 6	USLP 9143	eigene	104,29	105,10	104,47	104,6	0,3	1,0	0,7
9	FSL 18	USLP 9143	242	103,70	103,97	103,40	103,7	0,2	0,1	-0,3
10	FSP 13									

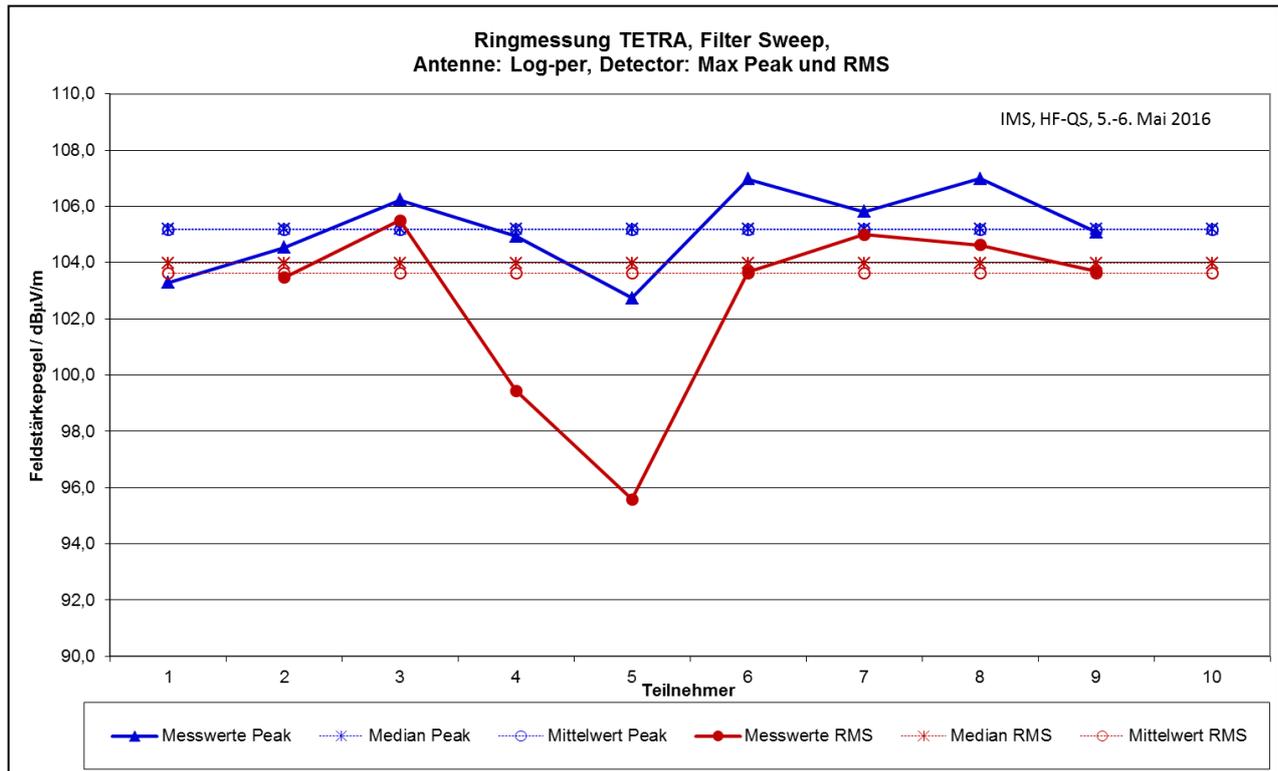
Standardabweichung der Gruppe (o.A.):	1,9
Mittelwert der Gruppe (o.A.):	103,6
Median der Gruppe (o.A.):	104,0

Ohne Berücksichtigung des Ausreißers in der Statistik reduziert sich die Standardabweichung der Gruppe von 3,4 auf 1,9 dB. Außerdem ändern sich die Abweichungen der persönlichen Mittelwerte vom Mittelwert und vom Median der Gruppe.

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

Lässt man Teilnehmer 4 zunächst außer Acht, so beträgt die maximale persönliche Abweichung vom Mittelwert der Gruppe ohne Ausreißer +1,9 dB bzw. -0,2 dB, vom Median der Gruppe +1,5 dB bzw. -0,5 dB. Die Abweichung von Teilnehmer 4 liegt mit -4,2 dB bzw. -4,5 dB zwar noch unter 5,0 dB, ist aber deutlich höher als die der übrigen Teilnehmer.

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



16.4 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]	105,2 – 103,6 = 1,6	105,2 – 104,0 = 1,2

Mit 1,6 bzw. 1,2 dB fällt der über die Luftschnittstelle gemessene Crestfaktor deutlich kleiner aus als der für TETRA typische Crestfaktor von ca. 3 dB.

Mönchengladbach, 31. Mai 2016



Dr.-Ing. Martin H. Virnich

Ende des Protokolls