



Hochschule Kaiserslautern University of Applied Sciences

Hochschule Kaiserslautern Angewandte Ingenieurwissenschaft Studiengang Elektrotechnik

> Johannes Gehres Matrikelnummer 870079

Laboruntersuchungen zum Vergleich der Signalqualität eines DAB-OFDM-Signals zwischen einem kommerziellen DAB-Sender und Small-scale-DAB-Sendern (USRP und EasyDAB v2.0)

Betreut durch:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Steil (HS-KL) Dipl.-Ing. Joachim Lehnert (LMK)

Odenbach, den 21. November 2018





EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, Johannes Gehres, dass ich diese Arbeit selbst und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Die von mir verwendete Literatur und andere Unterlagen sind im Text kenntlich gemacht und im Literaturverzeichnis aufgelistet.

Odenbach, den 21.11.2018

(Johannes Gehres)





INHALTSVERZEICHNIS

1		Abst	tract		. 1
2		Ziel	der l	Jntersuchung	. 2
3		Mes	shar	dware	. 3
	3.	1	DAB	-Multiplexgenerator	. 3
	3.	2	Mes	sobjekte	. 3
		3.2.	1	EasyDab v2	. 3
		3.2.2	2	USRP B200	.4 1
	3.	3.2	Mes	sgeräte	. 4 . 5
		3.3.3	1	ETL (TV Analysator)	. 5
		3.3.2	2	ESRP (Messempfänger)	. 5
	3.	4	Mas	kenfilter	. 6
	3.	5	Wei	tere Komponenten	. 6
4		Mes	sung	gen	. /
	4.	1	Labo	praufbau	. 7
		4.1.	1 ว	Messaufbau EasyDab, USRP B200 ohne Vorverzerrung und Plisch-Sender	. 7
	4.	4.1 2	∠ Mes	sung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und	. 0
			Best	immung des Crest-faktors in Abhängigkeit der Sendeleistung	. 9
	4.	3	Mes	sung der Amplituden- und Phasenschwankungen im Kanal	10
	4.	4	Mes	sung des Amplitudengangs und der Gruppenlaufzeit im Kanal	10
	4.	5	Mes	sung des IQ-Ungleichgewichts	11
	4.	6	Mes	sung des Konstellationsdiagramms	11
	4.	7	Mes	sung der Modulationsfehlerrate	11
	4.	8	Mes	sung des OFDM-Schulterabstands	12
	4.	9	Mes	sung der Nebenaussendungen/Oberwellen und	 1
5		Moc	zuri	einnaltung der DAB-spektrumsmasken	12
J	-	10103	C:		17
	5.	1 E 1 ·	Sign 1	B200 ohno digitalo Vorvorzorrung	15
		5.1.	1 2	B200 mit Vorverzerrung	17 31
		5.1.	3	Plischsender	46
	_	5.1.4	4	EasyDAB	50
~	5.	2	Verg	gleich der unterschiedlichen DAB Sender	74
6		Anh	ang.		37





е	5.1	Frequenzgang des Maskenfilters	37
6	5.2	Konfigurationsdateien	88
	6.2.	.1 DAB-Multiplexer	88
	6.2.	.2 B200 Ini-File	39
7	Abb	oildungsverzeichnis	1
8	Lite	eratur	18

1 ABSTRACT

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit werden verschiedene DAB-Sender auf ihre Eignung zur Übertragung im VHF-Band-III betrachtet und untereinander verglichen. Bei den DAB-Sendern handelt es sich um einen professionellen DAB-Sender der Firma Plisch, zwei Small-scale-Sendern, dem EasyDAB und dem Ettus B200. Diese Small-scale-Sender sind im Niedrigpreissektor angesiedelt. Die Ansteuerung der Sender und die Erzeugung des DAB-Datenstroms erfolgt mit der Open-Source Software ODR-MMB-Tools, die von Mathias Brändli entwickelt wird [1]. Die Software zur Erzeugung der IQ-Daten, die für den B200 verwendet wird, kann ohne digitale Vorverzerrung und mit digitaler Vorverzerrung betrieben werden. Die Arbeit betrachtet sowohl den Effekt ohne digitale Vorverzerrung als auch den Effekt mit digitaler Vorverzerrung.

Um die Eignung der Sender zur Übertragung im VHF-Band-III beurteilen zu können, werden verschiedene Parameter messtechnisch ermittelt und mit den in der Norm hinterlegten Angaben verglichen. Die folgenden Parameter werden ermittelt: der Schulterabstand, der Crestfaktor, die Amplituden- und Phasenschwankungen im Kanal, der Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit im Kanal, das IQ-Ungleichgewicht, das Konstellationsdiagramm, die Modulationsfehlerrate, die Nebenaussendungen/Oberwellen und die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske.

Die Messergebnisse zeigen, dass alle drei Sender für den Betrieb im VHF-Band III geeignet sind. Wesentliche Unterschiede der Messergebnisse zeigen sich nur bei der Messung der Oberwellen und Nebenaussendungen. Hier produziert der Plisch-Sender die geringsten Oberwellen und Nebenaussendungen. Außerdem zeigt sich, dass der professionelle Plisch-Sender eine viel größere Leistung aussenden kann, als die beiden anderen DAB-Treiberendstufen.

2 ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Im Rahmen einer studentischen Praxisphase in Kooperation mit der Hochschule Kaiserslautern und der Landeszentrale für Medien und Kommunikation Rheinland-Pfalz wurde Anfang 2018 ein Small-scale-DAB-Sender mit einem Raspberry Pi 3 und einem Kleinstleistungssender EasyDab aufgebaut.

Im Jahr 2017 wurde eine verbesserte Version des ODR-DabMod zur Ansteuerung eines USRP als OFDM-Modulator entwickelt. Die verbesserte Version beinhaltet eine digitale Vorverzerrung, die eine bessere Signalqualität verspricht.

Außerdem wurde durch die Landeszentrale für Medien und Kommunikation Rheinland-Pfalz (LMK) im Jahr 2017 ein professioneller DAB-Sender der Firma Plisch (TDA 4502 Kleinsender 180 W) beschafft.

Diese drei DAB-Sender sollen nun auf ihre Eignung vermessen werden und miteinander verglichen werden. Es gilt, die Richtlinien der ITU- [2] und ETSI-Normen [3] für die Übertragung von DAB bzw. die Übertragung im VHF-Band III (174 – 230 MHz) einzuhalten. Die Messungen finden auf drei verschiedenen Frequenzen statt, nämlich am Bandanfang, in der Bandmitte und am Bandende des VHF-Band-III. Dies soll eventuelle Nichtlinearitäten über der Frequenz aufzeigen. Es wird unter anderem das erzeugte Spektrum, mit und ohne Maskenfilter, untersucht ebenso wie die Einhaltung der DAB-Spektrumsmasken. Außerdem werden die Modulatoreigenschaften, wie zum Beispiel das Konstellationsdiagramm, die Modulationsfehlerrate usw. vermessen.

Die durchgeführten Messungen orientieren sich dabei an der Application Note "Messungen an DAB Sendern für Abnahme, Inbetriebnahme oder Wartung" von Christiane Klaus, Rohde & Schwarz, Version 07.2013-7BM104_1D [4].

Zum besseren Vergleich des USRP mit Vorverzerrung wird noch der USRP mit der ODR-DabMod Version ohne Vorverzerrung gemessen.

3 MESSHARDWARE

Für die Durchführung der Messungen werden sowohl die Messobjekte als auch geeignete Messgeräte verwendet. Im Folgenden werden die Komponenten aufgeführt und beschrieben.

3.1 DAB-MULTIPLEXGENERATOR

Wichtig bei den Messungen ist es, ein DAB-konformes Signal zu erzeugen. Um dies zu gewährleisten, wird ein DAB-Multiplexer eingesetzt. Der Multiplexer ist ein Linuxrechner auf dem die Open-Source ODR-mmbTools von Mathias Brändli installiert wurden [1]. Der Linuxrechner verfügt über eine FarSync-Karte, Gigabit-Ethernet und USB 3.0-Anschlüsse. Durch diese Peripherie ist es möglich, ein reines ETI-Signal, ein EDI-Signal (ETI-Signal eingekapselt in UDP) und ein ZeroMQ-Stream zu erzeugen und an die nachfolgenden Sendeeinheiten weiterzuleiten. Der Multiplexer wird außerdem für die Berechnung der I/Q-Samples, mit Hilfe der ODR-Tools, verwendet. Auch die digitale Vorverzerrung durch den verbesserten ODR-DabMod wird auf dem Multiplexer durchgeführt.

Weitere Informationen über den Aufbau eines Multiplexer sind unter folgender Literatur [5] und [6] zu finden. Hier wurden im Rahmen von praktischen Arbeiten ein DAB-Multiplexer durch Studierende der Hochschule Kaiserslautern in Kooperation mit der Landeszentrale für Medien und Kommunikation Rheinland-Pfalz aufgebaut. Die verwendeten Konfigurationsdateien sind im Anhang 6.2 zu finden.

3.2 Messobjekte

Bei den Messobjekten handelt es sich um die drei DAB-Sender, die auf ihre Eignung überprüft werden sollen.

3.2.1 EasyDab v2

Das EasyDab v2 Board [7] ist eine platzsparende DAB-HF-Sendeeinheit. Es besitzt einen Xilinx FPGA, der dazu dient, die Basisbanddaten anhand eines eingehenden Multiplexsignals zu berechnen. Außerdem können die HF-Sendefrequenz und der DAB-Mode eingestellt werden. Das Board hat einen integrierten GPS-Empfänger, der es ermöglicht, eine GPS-Synchronisation für Gleichwellennetze auszuführen. Das ETI-Signal des Multiplexgenerators wird dem Board über ZeroMQ übergeben, weshalb es über einen Fast-Ethernet Anschluss verfügt.



Abbildung 1 EasyDAB

3.2.2 USRP B200

Der USRP B200 der Firma Ettus ist eine Einplatinen Universal Software Radio Peripherie (USRP) mit einer Frequenzabdeckung von 70 MHz – 6 GHz [8]. Die Basisbanddaten werden durch einen Spartan6-FPGA berechnet. Zur Ansteuerung mit dem DAB-Multiplexgenerator verfügt das Board über einen USB 3.0 Anschluss. Der B200 erhält per ZeroMQ-Stream die durch den Multiplexer generierten I/Q-Samples.





3.2.3 Plisch TDA 4502

Der TDA 4502 ist ein professioneller DAB-Sender der Firma Plisch [9]. Die Leistung des Senders beträgt bis zu 180 W. Der Sender besitzt eine interne digitale Vorverzerrungsstufe. Der ETI-Multiplex kann sowohl als ETI-Signal über eine FarSync-Karte als auch über EDI, ein ETI-Signal eingekapselt in ein UDP-Paket, an den TDA 4502 übergeben werden.



Abbildung 3 Plisch [9]

3.3 Messgeräte

Für die Durchführung der Messungen werden die in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 dargestellten Geräte der Firma *Rohde & Schwarz* verwendet.

3.3.1 ETL (TV Analysator)

Der ETL ist ein TV-Analysator der Firma Rohde & Schwarz, der im Wesentlichen zur Analyse von analogen und digitalen TV-Signalen dient [10]. Außerdem ermöglicht er, DAB-Signale zu überprüfen. Der ETL arbeitet in einem Frequenzbereich von 500 kHz bis 3 GHz, wodurch der Frequenzbereich von DAB (174 MHz – 230 MHz) abgedeckt ist. Aufgrund der Entwickelung des ETL zur Analyse von TV-Signalen, lässt sich eine tiefergehende Betrachtung des DAB-Signals durchführen, als es durch gewöhnliche Spektrumsanalysatoren möglich ist. So ist es beispielsweise möglich, ein Konstellationsdiagramm anzuzeigen.



Abbildung 4 R&S ETL [10]

3.3.2 ESRP (Messempfänger)

Der ESRP ist ein weiterer Spektrumsanalysator der Firma Rohde & Schwarz mit einem Frequenzbereich von 9 kHz bis 7 GHZ [9]. Er dient dazu die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske zu ermitteln.



Abbildung 5 R&S ESRP [11]

3.4 MASKENFILTER

Das Maskenfilter für das VHF-Band-III ist auf den Kanal 12A abgestimmt. Es dient dazu, die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske zu ermöglichen. Die Durchgangsdämpfung beträgt ca. 1 dB. Der Frequenzgang des Maskenfilters ist im Anhang unter Kapitel 6.1 zu finden. Das Maskenfilter dient außerdem dazu, die Rückwirkungen der Antenne, die auf anderen Frequenzen empfangen werden, zu unterbinden.



Abbildung 6 Maskenfilter

3.5 WEITERE KOMPONENTEN

Zu den oben genannten Komponenten werden außerdem weiterhin Messkabel, Dämpfungsglieder und Richtkoppler benötigt.

4 MESSUNGEN

Die folgenden Messungen werden für den Vergleich der drei Sender-Komponenten durchgeführt:

- Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und die Bestimmung des Crestfaktors in Abhängigkeit der Sendeleistung
- Messung des OFDM-Schulterabstands
- Messung der Amplituden- und der Phasenänderung im Kanal
- Messung des Amplitudengangs und der Gruppenlaufzeit im Kanal
- Messung des IQ-Ungleichgewichts
- Messung des Konstellationsdiagramms
- Messung der Modulationsfehlerrate
- Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und der Einhaltung der DAB-Spektrumsmasken

Die Messungen werden

- ohne Maskenfilter auf drei unterschiedlichen Frequenzen im VHF-Band-III durchgeführt und zwar am Anfang (DAB-Kanal 5A, 174,928 MHz), in der Mitte (DAB-Kanal 9A, 202,928 MHz) und am Ende des Bands (DAB-Kanal 12A, 223,936 MHz)
- mit Maskenfilter auf dem DAB-Kanal 12A, 223,936 MHz

durchgeführt.

Die einschlägigen ETSI-Normen [3] und ITU-Empfehlungen [12] für die DAB-Übertragung und insbesondere für die Anforderungen an VHF-Sender zur standardkonformen DAB-Ausstrahlung sind zu beachten.

4.1 LABORAUFBAU

Der Laboraufbau für die verschiedenen DAB-Sender ist im Grunde genommen gleich. Lediglich bei der Messung des verbesserten ODR-DabMod ist eine Rückführung des Signals an den USRP nötig. Außerdem ist die Ansteuerung der einzelnen Sender unterschiedlich. In den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 werden die einzelnen Laboraufbauten detailliert beschrieben. Die Kabeldämpfung für den Versuchsaufbau wird mit ca. 1 dB angenommen. Da es nicht um die exakte Bestimmung der Leistung geht, sondern um die Qualität des Signals, gebrauch es keiner Dämpfungsbestimmung der Kabel. Die Dämpfung der Kabel beeinflusst im Wesentlichen nicht die Qualität der Signale.

4.1.1 Messaufbau EasyDab, USRP B200 ohne Vorverzerrung und Plisch-Sender

Für die drei Sender EasyDab, Ettus B200 und den Plisch-Sender ist der Laboraufbau gleich. Der EasyDab erfordert ein ETI-Signal über ein Ethernet-Netzwerk. Der Plisch-Sender wird über die FarSync-Karte des Multiplexers direkt mit einem ETI-Strom versorgt. Der Plisch-Sender wird außerdem mit seiner internen digitalen Vorverzerrung betrieben.

Der Ettus B200 erfordert hingegen einen I/Q-Datenstrom über einen USB 3.0 Anschluss. Die Ansteuerung der drei Sender erfolgt mit dem gleichen DAB-Multiplexer und der gleichen Konfiguration wie sie im Anhang 6.2 zu finden ist.

Bei der Messung mit dem B200 handelt es sich um die Messung mit dem ODR-DabMod ohne die digitale Vorverzerrung.

Der Ausgang der drei Sender wird gedämpft an den Eingang des Messgerätes ETL angeschlossen. Es gilt dabei zu beachten, dass das Dämpfungsglied so ausgewählt werden muss, dass die maximale Eingangsleistung der Messgeräte nicht überschritten wird. Diese maximale Eingangsleistung beträgt für den ETL und den ESRP +30dBm, was 1 Watt entspricht. Für den Plisch-Sender wird eine Leistungsdämpfung von 60 dB vorgenommen, für den B200 eine Dämpfung von 30 dB und für das EasyDAB-Board eine Dämpfung von 15 dB.



Abbildung 7 Messaufbau B200, Plisch, EasyDAB

Bei den Messungen, die ohne das Maskenfilter durchgeführt werden, ist der Aufbau identisch, jedoch wird das Maskenfilter im Versuchsaufbau dann nicht eingebaut.

Die Messung zur Einhaltung der Spektralmaske wird mit dem ESRP durchgeführt. Die sonstigen Messungen werden mit dem ETL durchgeführt.

4.1.2 Messaufbau USRP B200 mit verbessertem ODR-DabMod

Der verbesserte ODR-DabMod beinhaltet eine digitale Vorverzerrung. Das bedeutet, dass eine Rückführung des Sendesignals auf den Empfangseingang des USRP stattfindet. Die Rückführung wird durch einen Richtkoppler erzeugt. Damit der Eingang des USRP nicht durch zu hohe Rückwirkungsleistung zerstört wird, wird ein Dämpfungsglied benötigt. Es gilt weiterhin zu beachten, dass die maximale Eingangsleistung der Messgeräte nicht überschritten werden darf. Damit dies nicht passiert, wird nach dem Richtkoppler noch ein weiteres Dämpfungsglied eingebaut. Eine genauere Erläuterung zur Funktionsweise der digitalen Vorverzerrung findet sich unter [13] und [14].



Abbildung 8 Messaufbau B200 mit verbessertem ODR-DabMod

Die Werte für das Dämpfungsglied ergeben sich aus der maximalen Sendeleistung des B200, der Dämpfung des Richtkopplers und der maximalen Eingangsleistung des B200. Die Sendeleistung des B200 beträgt maximal 20 dBm. Die Empfangsleistung muss mindestens - 45 dBm betragen und darf den Wert von -15 dBm nicht überschreiten.

Somit ergibt sich für das Dämpfungsglied der folgende Wert:

 $D\ddot{a}mpfungsglied = TX_{Power} - Richtkoppler + RX_{Input}$ $D\ddot{a}mpfungsglied = 20 \ dBm - 26 \ dB + 45 \ dBm$

Es ergibt sich für das Dämpfungsglied eine Dämpfung von 39 dB, hierfür wurde eine Dämpfung von 40 dB gewählt. Das Dämpfungsglied vor dem ETL und ESRP besitzt eine Dämpfung von 20 dB.

Hier gilt wie in Kapitel 4.1.1, dass das Maskenfilter bei Messungen ohne Filter ausgebaut werden muss. Die Messung zur Einhaltung der Spektralmaske wird auch hier mit dem ESRP durchgeführt. Die sonstigen Messungen werden mit dem ETL durchgeführt.

4.2 Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und Bestimmung des Crest-faktors in Abhängigkeit der Sendeleistung

Der Crest-Faktor (CF) eines Signals ist das logarithmische Verhältnis des Spitzenwertes des modulierten Trägersignals (U_s) zur Effektivspannung (U_{eff}).

$$CF = 20 * \log \frac{U_s}{U_{eff}}$$

Da der Crest-Faktor auch den Spitzenwert des Signals beinhaltet, ist er für die Dimensionierung von nachfolgenden Bauelementen eine wichtige Komponente. So muss zum Beispiel bei der Auslegung einer Antenne die Spannungsfestigkeit berücksichtig werden.

Bei Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) Signalen kann der Crest-Faktor sehr hoch sein, da sich im Extremfall alle Träger zu einem Zeitpunkt entweder auslöschen oder überlagern können. Es gilt bei OFDM die Beziehung:

$$CF_{OFDM} = 10 * \log(2N)$$
, $N = Anzahl der Träger$

Der theoretische Crest-Faktor für ein DAB-Signal im Mode I mit 1536 Trägern würde ca. 35 dB betragen. Dieser Wert ist jedoch sehr unwahrscheinlich, da er nur auftritt, wenn sich alle Träger entweder überlagern oder auslöschen. Der Crest-Faktor ist in der Praxis durch den Sender auf 13 dB begrenzt [4, S. 10]. Diese Limitierung ist durch den D/A-Wandler, der zur Generierung des Signals verwendet wird und durch die Eigenschaften eines Verstärkers begründet [15, S. 9].

Bei hohen Crest-Faktoren treten die Signalspitzen immer seltener auf, weshalb bei der Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) die statistische Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Signalspitzen angegeben wird. Die CCDF Methode bestimmt den Spitzenwert der Modulationshüllkurve. Aus diesem Grund muss der ermittelte Crest-Faktor um den Faktor $\sqrt{2}$ bzw. 3,01 dB korrigiert werden. Der Spitzenwert des Ausgangs-HF-Leistungssignals darf das mittlere Leistungsniveau nicht um mehr als 13 dB überschreiten [3, S. 11].

4.3 Messung der Amplituden- und Phasenschwankungen im Kanal

Diese Messung zeigt Amplituden- und Phasenschwankungen über der Frequenz an. Sie wird durchgeführt, um die Qualität der Übertragungsstrecke zu vermessen. Ohne das Maskenfilter sollten keine nennenswerten Schwankungen auftreten. Erst durch den Einsatz des Maskenfilters und den dadurch verursachten linearen Verzerrungen sollten deutliche Schwankungen zu erkennen sein. Da bei DAB eine differentielle Modulation eingesetzt wird, hat es zur Folge, dass größere Schwankungen ohne Qualitätsverluste zugelassen werden können.

4.4 Messung des Amplitudengangs und der Gruppenlaufzeit im Kanal

Diese Messung zeigt den Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit über der Frequenz an. Sie ist eine weitere Messung, um die Qualität der Übertragungsstrecke zu bestimmen. Das eingesetzte Maskenfilter sollte auch hier wieder zu deutlichen Verzerrungen führen. Durch die eingesetzte differentielle Modulation können diese Schwankungen ohne Qualitätsverluste zugelassen werden.

4.5 Messung des IQ-Ungleichgewichts

Primär bestehen DAB-Modulatoren aus IFFT Signalverarbeitungsblöcken, die nachfolgend einen digitalen oder analogen I/Q-Modulator besitzen. Das I/Q-Ungleichgewicht gibt an, inwieweit sich der Inphasal- und Quadraturanteil des QPSK-Signals vom idealen Gleichgewicht unterscheiden. Ein ideales Gleichgewicht ist dann gegeben, wenn Inphasalund Quadraturanteil um 90 ° verschoben sind. Das I/Q-Ungleichgewicht beeinflusst die Modulationsfehlerrate aller COFDM-Träger und verschlechtert somit die MER. Ein großes Ungleichgewicht führt außerdem dazu, dass die Träger über der Bandmitte auf die Träger unter der Bandmitte übersprechen und umgekehrt [4, S. 12].

4.6 MESSUNG DES KONSTELLATIONSDIAGRAMMS

Das Konstellationsdiagramm zeigt die Signalzustände, die durch die Quadraturmodulation auftreten, an. Es beinhaltet die Phasen- wie auch die Quadraturkomponenten des QAM-Signals. Ein DAB-Signal, das stark rauscht oder gestört wird, wird im Konstellationsdiagramm durch wolkenähnliche Punkte dargestellt. Sind die auftretenden Punkte jedoch sehr klein und bilden keinen wolkenähnlichen Effekt, ist die Signalqualität sehr gut.

4.7 MESSUNG DER MODULATIONSFEHLERRATE

Die Modulation Error Ratio (MER), auch Modulationsfehlerrate genannt, ist ein Parameter, der die Summe aller Störeinflüsse, die auf ein digitales quadraturmoduliertes Signal und damit auch auf ein DAB-Signal einwirken, beschreibt. Es wird dabei die Abweichung der Punkte im Konstellationsdiagramm von ihrer theoretisch idealen Position erfasst [4, S. 21]. Diese Abweichung wird durch einen Fehlervektor beschrieben (Abbildung 9).



Abbildung 9 Fehlervektor im Konstellationsdiagramm [16, S. 353]

Die MER ist das logarithmische Verhältnis des quadratischen Mittelwerts aller Fehlervektoren zum Effektivwert des Signals.

$$MER_{RMS} = 20 * \log_{10}* \frac{\sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=0}^{N-1} (|error \ vector|)^2}}{U_{RMS}} \ [dB]$$

Die MER lässt sich als gemittelter Wert über alle Unterträger angeben oder als Funktion über der Frequenz des DAB-Kanals. Durch das erfasste MER lässt sich eine Beurteilung der Signalqualität durchführen. Gute DAB-Sender weisen in der Regel eine MER im Bereich von etwa 33 dB auf [4, S. 21]. Laut ETSI EN 302 077 Norm sollte die MER \geq 20 dB betragen [3, S. 17].

4.8 MESSUNG DES OFDM-SCHULTERABSTANDS

Durch Nichtlinearitäten in den DAB-Sendern entstehen Intermodulationsprodukte zwischen den einzelnen COFDM-Trägern. Diese unerwünschten Frequenzkomponenten stören nicht nur den Kanal selbst, sondern erzeugen auch Störanteile außerhalb des Kanals. Einer dieser Wirkungen außerhalb der OFDM-Bandbreite ist der Schulterabstand. Dieser beschreibt die Leistung der Störanteile im Nahbereich der Kanalgrenze. Der Schulterabstand wird in dB angegeben.

In der Recommendation ITU-R BS.1660-7 ist der Schulterabstand durch eine Schablone (Abbildung 11) dargestellt. Er wird im Abstand von Bandbreite/2 + 0,2 MHz zur Kanalmitte gemessen. Für den verwendeten Mode I mit 1,536 MHz Bandbreite ist der Abstand also $\pm 0,97$ MHz. In Abbildung 10 ist ein DAB-Spektrum mit seinen typisch aussehenden Schultern dargestellt. Im Falle der unkritischen Maske sollte der Schulterabstand nicht schlechter als - 30 dB betragen [2, S. 4].



Abbildung 10 Schultern eines OFDM-Signals

4.9 Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und zur Einhaltung der DAB-Spektrumsmasken

Ein weiterer Störanteil, verursacht durch die Intermodulationsprodukte zwischen den einzelnen Trägern, sind die Nachbarkanalaussendungen. Sie sind Störanteile, die im Umkreis

einiger MHz der Kanalgrenzen auftreten. Die Störanteile der Nachbarkanalaussendungen liegen weiter von der Kanalgrenze weg als die Anteile des Schulterabstandes. Um die Störanteile, die außerhalb der 1,536 MHz Bandbreite liegen, herauszufiltern, muss ein Maskenfilter zum Einsatz kommen [2, S. 23]. Es wird dabei zwischen zwei Fällen unterschieden, dem kritischen und dem unkritischen Maskenfilter. Um ein kritisches Maskenfilter handelt es sich, wenn ein zu schützender Nachbarkanal vorhanden ist. Andersfalls handelt es sich um ein unkritisches Maskenfilter. Durch die beiden oben genannten Fälle ergeben sich, wie in Abbildung 11 dargestellt, die einzuhaltenden Spektrumsmasken. Dabei handelt es sich bei der gestrichelten Linie um den unkritischen Fall und bei der durchgezogenen Linie um den kritischen Fall. Weiterhin gibt die gepunktete Linie die Spektrumsmaske bei Verwendung des Kanals 12D an.

Ein weiterer Störanteil sind die sogenannten Oberwellen. Sie sind Anteile, die in Vielfachen der Sendefrequenz auftreten und dadurch benachbarte Kanäle stören können. Um diese Störanteile zu reduzieren, kann ebenfalls ein Maskenfilter eingesetzt werden.

Eine Messung der DAB-Spektrumsmaske ist ohne Maskenfilter nicht möglich, da sonst das Messgerät, wegen des geringen Unterschieds von Leistung des Senders zu Rauschen des Messgerätes, im Eigenrauschen messen würde. Durch das Maskenfilter wird das Eigenrauschen komplett unterdrückt und eine sinnvolle Messung zur Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske ist möglich. Dazu wird der Frequenzgang des Maskenfilters, dargestellt durch eine vorher erstellte Transducerdatei, zum Signal durch den ETL aufaddiert. Eine Transducerdatei kann hierbei, wie unter [4, S. 31] dargestellt, erzeugt werden.



Abbildung 11 Einzuhaltende Spektrumsmasken für kritischen und unkritischen Fall [12, S. 23]

5 MESSERGEBNISSE

Zuerst werden die Messergebnisse der einzelnen Sender mit den unterschiedlichen Frequenzen miteinander verglichen. Hierbei wird auch der Einfluss des Maskenfilters auf das Signal untersucht. Durch die Messungen auf drei unterschiedlichen Frequenzen lässt sich eine Aussage treffen, ob die Sender auf jeder Frequenz gleich arbeiten. Anschließend werden die Sender untereinander verglichen, wofür die Messungen auf dem Kanal 12A herangezogen werden.

5.1 SIGNALQUALITÄT IN ABHÄNGIGKEIT DER SENDEFREQUENZ

In diesem Kapitel wird die Abhängigkeit der Sendefrequenz auf die Qualität des Signals der Sender beurteilt. Außerdem werden die Auswirkungen des Maskenfilters auf die Qualität des Signals betrachtet. Die Messung zur Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske wurde nur mit dem Maskenfilter durchgeführt, da eine anderweitige Messung ohne Maskenfilter eine falsche Aussage darstellen würde. Denn ohne das Maskenfilter würde das Eigenrauschen, aufgrund des geringen Abstands von der Leistung des Senders zum Rauschen des Messgerätes, des ETL mit vermessen werden.



Abbildung 12 Messung des DAB-Signals ohne Maskenfilter

Abbildung 13 Messung des DAB Signals mit Maskenfilter

In Abbildung 12 ist die Messung eines DAB-Signals ohne das Maskenfilter dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Einhaltung scheinbar nicht erfüllt ist. In Abbildung 13 ist die Messung eines DAB-Signals mit dem Maskenfilter dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die Einhaltung der Maske erfüllt wird. Durch die Messung in Abbildung 12 könnte angenommen werden, dass die DAB-Maske nicht eingehalten werden würde. Diese Vermutung ist jedoch falsch, da aufgrund der ETL eine zu geringe Messdynamik aufweist.



Abbildung 14 Unterdrückung Eigenrauschen des ETL

In Abbildung 14 ist das Herausrechnen des Eigenrauschens, verursacht durch den ETL, deutlich zu erkennen. Das Maskenfilter dämpft deutlich das Rauschen des ETL, wodurch die Spektrumsmaske nun mit dem ETL korrekt vermessen werden kann.

5.1.1 B200 ohne digitale Vorverzerrung

Bevor mit den Messungen gestartet wurde, wurde zunächst die Leistung ermittelt, die die bestmöglichste Qualität des Spektrums erzeugt. Dazu wurde der TX-Gain-Wert in der Konfigurationsdatei des B200 variiert. Dieser Wert ist ein Parameter der ODR-mmbTools um die Leistung des B200 einzustellen.



Abbildung 15 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung B200 ohne Vorverzerrung

	TXGain	Externe Dämpfung in dB
Blau	100	30
Schwarz	80	30
Grün	60	10
Orange	40	0

Tabelle 1 Legende zu Abbildung 14

Es ist zu erkennen, dass das schwarze Spektrum die beste Signalqualität aufweist. Der Schulterabstand ist wesentlich größer als der des blauen Spektrums. Die Qualität des orangen und grünen Spektrums ist ebenfalls gut, jedoch wird der TX-Gain-Wert des schwarzen Spektrums verwendet, da dort die eingestellte Leistung am höchsten ist. Es wurde außerdem der Einfluss auf die Modulation betrachtet, wozu die MER ermittelt wurde.

TYCain	MER in dR Externe		Gedämpfte	Leistung in dBm
TAGain		Dämpfung in dB	Leistung in dBm	
40	37	0	-39	-39
60	37,1	20	-38,8	-18,8
80	37,5	40	-38,8	1,2
100	23,5	50	-39,5	10,5

Tabelle 2 MER in Abhängigkeit der Leistung B200 ohne Vorverzerrung

Tabelle 2 zeigt die Messwerte der Modulationsfehlerrate (MER) in dB, die eingestellte externe Dämpfung des Dämpfungsgliedes, die im ETL gemessene gedämpfte Leistung nach dem Dämpfungsglied in dBm und die tatsächliche Leistung des B200 in dBm. Um eine

5 Messergebnisse

Vergleichbarkeit der gemessenen Werte des B200 ohne Vorverzerrung zu erhalten, wurde das Dämpfungsglied so eingestellt, dass im ETL jeweils die gleiche Leistung gemessen wurde.

Die Messwerte zeigen, dass die MER für die folgenden TX-Gain-Werte 40, 60, 80, nahezu gleichbleibend sind. Lediglich der MER für den Wert 100 ist deutlich schlechter. Aufgrund der Betrachtung des Spektrums und der der Modulationsfehlerrate wird der TX-Gain-Wert 80 gewählt. Hier ist die Qualität in Abhängigkeit der Leistung am größten.

5.1.1.1 Messung des OFDM-Schulterabstands

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen des Schulterabstandes für den B200 ohne die digitale Vorverzerrung dargestellt. Die folgenden Kanäle wurden gemessen: Kanal 5A, Kanal 9A, Kanal 12A, sowie Kanal 12A mit Maskenfilter



Abbildung 16 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 17 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 18 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 19 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Der Schulterabstand, im Abstand ± 970 kHz zur Kanalmitte, beträgt für alle drei Sendefrequenzen in etwa -42 dB. Die Messgrenzen von -30 dB, wie in Kapitel 4.8 genannt, werden deutlich erkennbar eingehalten. Die geringen Messunterschiede sind auf Messungenauigkeiten des Versuchsaufbaus und auf Toleranzen im B200 zurückzuführen. Durch den Einsatz des Maskenfilters wird der Schulterabstand nochmals auf -56 dB verbessert.

5.1.1.2 Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und Bestimmung des Crestfaktors in Abhängigkeit der Sendeleistung



Abbildung 20 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 21 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 22 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 23 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Der Crestfaktor für alle drei Sendefrequenzen beträgt in etwa 12-13 dB. Für den Kanal 12A (Abbildung 22) beträgt der Crestfaktor 13,1 dB, was die Grenze von 13 dB geringfügig überschreitet. Das Maskenfilter sollte keine wesentlichen Auswirkungen auf den Crestfaktor haben.



5.1.1.3 Messung der Amplitude und Phase im Kanal





Abbildung 25 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 26 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 27 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die Amplituden- und Phasenänderungen über der Frequenz im Kanal sind für alle Sendefrequenzen sehr gering. So ist der Amplitudenunterschied zwischen den einzelnen Trägern des OFDM-Signals maximal 0,64 dB und die Phasenänderung zwischen den Trägern beträgt maximal 0,81°. Dies veranschaulicht, dass der B200 sehr rauscharm arbeitet. Das Maskenfilter bewirkt, dass der Amplitudenunterschied 1,6 dB beträgt und die Phasenänderung jetzt 35,74° beträgt. Das Maskenfilter verschlechtert somit den Amplitudenunterschied und die Phasenänderung.

5.1.1.4 Messung der Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal

Im Folgenden wird der Vergleich der Messungen des Amplitudenganges und der Gruppenlaufzeit im Kanal über alle Träger des B200 ohne digitale Vorverzerrung betrachtet. Die folgenden Kanäle wurden gemessen: Kanal 5A, Kanal 9A, Kanal 12A und Kanal 12A mit Maskenfilter.







Abbildung 29 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 30 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A





Seite 21

Die Amplitude und Gruppenlaufzeit ist für alle drei Sendefrequenzen nahezu konstant. Die Amplitude beträgt 0,67 dB, während die Gruppenlaufzeit eine Zeit von ca. 41,4 ns aufweist. Dies zeigt, dass der B200 sehr rauscharm arbeitet. Durch den Einsatz des Maskenfilters (Abbildung 31) wird die Amplitude und Gruppenlaufzeit verschlechtert. Die Amplitude beträgt jetzt 1,63 dB und die Gruppenlaufzeit beträgt 640,47 ns.





Abbildung 32 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 34 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 33 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 35 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Das Ungleichgewicht zwischen Inphasal- und Quadraturanteil über alle Träger des Signals vom B200 ist verschwindend gering. Die Amplitudenfehler liegen bei maximal 0,09 % und die Phasenfehler der I/Q-Komponenten sind so gering, dass sie kaum auflösbar sind. Hier ist

wieder zu erkennen, dass der B200 sehr rauscharm arbeitet. Das Maskenfilter hat auf das IQ-Ungleichgewicht keine Auswirkungen.





Abbildung 36 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 37 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 38 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 39 Konstellationsdiagramm über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die Konstellationsdiagramme zeigen für alle drei Sendefrequenzen keinen wolkenähnlichen Effekt um die idealen Konstellationspunkte herum. Dies bestätigt nochmals, dass der B200 sehr rauscharm arbeitet. Das Konstellationsdiagramm zeigt keine Veränderung durch den Einsatz des Maskenfilters.

5.1.1.7 Messung der Modulationsfehlerrate

Die Messung der Modulationsfehlerrate wird einmal über der Frequenz für alle Träger ermittelt und einmal als Tabelle durch den ETL ermittelt. Die folgenden Kanäle wurden gemessen: Kanal 5A, Kanal 9A, Kanal 12A und Kanal 12A mit Maskenfilter.

5.1.1.7.1 Gesamtübersicht der Modulationsfehler

tt 0 dB xpLvl - 51.80 dBm					*	Att 0 dB ExpLvl - 51.10 dBm				
Pass	Limit <	Results <	Limit	Unit		Pass	Limit <	Results	< Limit	
.evel	-60.0	-28.5	10.0	dBm		Level	-60.0	-28.7	10.0	6
Carrier to Noise	15.0	64.2		dB		Carrier to Noise	15.0	64.1		c
1ER (rms)	24.0	36.9		dB		MER (rms)	24.0	37.7		6
IER (peak)	10.0	25.1		dB	OLim	MER (peak)	10.0	26.3		c
VM (rms)		1.43	4.40	%		EVM (rms)		1.30	4.40	9
VM (peak)		5.53	22.00	%		EVM (peak)		4.86	22.00	9
3ER bef. Viterbi		0.0e-7(12/100)	1.0e-2			BER bef. Viterbi		0.0e-7(11/100)	1.0e-2	Γ
3ER bef. Viterbi FIC		0.0e-6(248/1K00)	1.0e-2		PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-6(239/1K00)	1.0e-2	
BER bef. Viterbi MSC		0.0e-6(9/10)	1.0e-2			BER bef. Viterbi MSC		0.0e-6(9/10)	1.0e-2	
	MED 26 OdD	DEMOD E	IC		LvI - 2	8.7dBm BER 0.0e-7	MER 37.7dE	B DEMOD	FIC	
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana	Modulati I 5A	ionsfehler B2	00 (ohne	Abb Vort	ildung 42 verzerrung Kana	Modulat 12A	ionsfehler B2	200	0
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana ETL Modulation E - RF 202.928000	Modulati I 5A Frors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 10: B/DAB	00 (5 146, F	ohne w 3.40	Abb Vorv R85 Ch: -	ildung 42 verzerrung Kana ETL Modulation E RF 223.936000	Modulat 12A rrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 10 B/DAB	200 5146, F	ol w
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB xpLvi - 52.50 dBm	Modulati I 5A irrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 10: B/DAB	00 (ohne w 3.40	Abb Vort Ch: -	ildung 42 verzerrung Kana ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvl -51.60 dBm	Modulat. I 12A rrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 10 B/DAB	200 5146, F	w
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB :xpLvl - 52.50 dBm	Modulati I 5A irrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 105 B/DAB	00 (unit	Abb Voru Res Ch: -	ildung 42 verzerrung Kana. ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvI -51.60 dBm	Modulat. 12A rrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 10 B/DAB	200 5146, F	•
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB :xpLvI - 52.50 dBm 	Modulati I 5A irrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 105 B/DAB	00 (5146, F	Unit	Abb Voru Ch: -	ildung 42 verzerrung Kana. ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvI - 51.60 dBm Pass Level	Modulat. 12A rrors MHz T-DM	ionsfehler B2 S/N 10: B/DAB Results -31.2	200 5146, F	
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB :xpLvl - 52.50 dBm evel carrier to Noise	Mex 36.90B Modulati / 5A irrors MHz T-DM -60.0 15.0	S/N 105 S/N 105 B/DAB	00 (5146, F : Limit 10.0	Unit dBm	Abb Vor Ch: -	ildung 42 verzerrung Kana. ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvl - 51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise	Modulat. 12A rrors MHz T-DM	S/N 102 S/N 102 B/DAB Results -31.2 63.7	200 5146, F <u>c Limit</u> 10.0	
.4dBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB :xpLvl - 52.50 dBm Pass .evel Carrier to Noise 4ER (rms)	Mex 36.90B Modulati / 5A irrors MHz T-DM -60.0 15.0 24.0	ionsfehler B2 S/N 101 B/DAB Results < -28.6 64.0 36.9	00 (5146, F : Limit 10.0	Unit dBm dB	Abb Vor Ch: -	ildung 42 verzerrung Kana. ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvl - 51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise MER (rms)	Modulat. 12A rrors MHz T-DM <u>-60.0</u> 15.0 24.0	ionsfehler B2 S/N 102 B/DAB Results -31.2 -31.2 -33.2 -33.2 -33.2	200 5146, F < <u>Limit</u> 10.0	
AddBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB xpLvl - 52.50 dBm Pass evel Carrier to Noise HER (rms) HER (peak)	Limit Limit -60.0 15.0 24.0 10.0	S/N 10 B/DAB Results -28.6 64.0 36.9 25.0	00 (5146, F : Limit 10.0	Unit dBm dB dB	Abb Voru Ch: - *	ildung 42 verzerrung Kana. ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvI -51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak)	Modulat. 12A mors MHz T-DM <u>Limit <</u> -60.0 15.0 24.0 10.0	ionsfehler B2 S/N 102 B/DAB Results -31.2 -3	200 5146, F : Limit 10.0	
AddBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB xpLvl - 52.50 dBm Pass evel Carrier to Noise HER (rms) HER (peak) EVM (rms)	Limit Limit -60.0 15.0 24.0 10.0	consfehler B2 S/N 10 B/DAB Results <	00 (5146, F : Limit 10.0 4.40	Unit dBm dB dB dB	Abb Vorn Ch: - *	ildung 42 verzerrung Kana. ETL Modulation E TRF 223.936000 Att 0 dB ExpLvI - 51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise MER (ms) MER (peak) EVM (ms)	Modulat. 12A mors MHz T-DM <u>Limit <</u> -60.0 15.0 24.0 10.0 	ionsfehler B2 S/N 102 B/DAB Results -31.2 63.7 38.2 27.0 1.23	200 5146, F 5146, F 10.0 4.40	
AddBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kana. ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB xpLvl - 52.50 dBm Pass evel Carrier to Noise HER (rms) HER (peak) EVM (rms) EVM (rms) EVM (peak)	Limit < -60.0 15.0 24.0 	Results -28.6 64.0 36.9 25.0 1.43 5.61	00 (5146, F : Limit 10.0 4.40 22.00	Unit dBm dB dB dB	Abb Vorn Ch: - *	ildung 42 verzerrung Kanar ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvl -51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak)	Modulat. 12A mors MHz T-DM <u>Limit <</u> -60.0 15.0 24.0 10.0 	ionsfehler B2 S/N 102 B/DAB Results -31.2 63.7 38.2 27.0 1.23 4.49	200 5146, F 5146, F 10.0 4.40 22.00	
AdBm BER 0.0e-7 dung 40 Przerrung Kanal ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB xpLvI - 52.50 dBm Pass evel Carrier to Noise 4ER (rms) 4ER (rms) 4ER (peak) EVM (rms) EVM (rms) EVM (peak) EVM (peak) EVM (peak)	Limit < 	Results -286.6 -64.0 36.9 25.0 1.43 5.61 0.0e-7(25/100)	00 (5146, F 5146, F 10.0 4.40 22.00 1.0e-2	Unit dBm dB dB %	Abb Vorn Ch: - * OLim Tdf	ildung 42 verzerrung Kanar ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvI -51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi	Modulat. 12A mors MHz T-DM <u>Limit <</u> -60.0 15.0 24.0 10.0 	ionsfehler B2 S/N 10 B/DAB Results -31.2 63.7 38.2 27.0 1.23 4.49 0.0e-7(75/100)	200 5146, F 5146, F 10.0 4.40 22.00 1.0e-2	
AdBm BER 0.0e-7 dung 40 erzerrung Kanar ETL Modulation E - RF 202.928000 tt 0 dB xpLvI - 52.50 dBm Pass evel Carrier to Noise 4ER (rms) 4ER (peak) EVM (rms) EVM (mes) EVM (mes) EVM (peak) EXA bef. Viterbi FIC	Limit	Results -28.6 -40.0 36.9 25.0 1.43 5.61 0.0e-7(25/100) 0.0e-6(453/1K00)	00 0 5146, F 5146, F 10.0 22.00 1.0e-2 1.0e-2	Unit dBm dB dB v6 v6 v6	Abb Vorn Ch: - * OLIm Tdf PS	ildung 42 verzerrung Kanar ETL Modulation E RF 223.936000 Att 0 dB ExpLvI -51.60 dBm Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi FIC	Modulat. 12A rrors MHz T-DM Limit < -60.0 15.0 24.0 10.0 10.0 	ionsfehler B2 S/N 101 B/DAB Results -31.2 -33.2 -33.2 -33.2 -33.2 -33.2 -33.2 -31.2 -33.2 -33.2 -34.2 0.0e-7(75/100) 0.0e-7(1K24/10K0)	200 5146, F 5146, F 10.0 22.00 1.0e-2 1.0e-2	

Abbildung 41 Modulationsfehler B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A

Abbildung 43 Modulationsfehler B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Der Effektivwert der MER beträgt für die drei Sendefrequenzen um die 37 dB. Damit wird die Grenze von 20 dB sogar um 17 dB überschritten, was einem sehr guten Wert entspricht. Die Error-Vector-Magnitude (EVM), welche ein Maß für Abweichung der übertragenden Symbole von der Idealkonstellation ist, überschreitet die im ETL hinterlegte Grenze nicht.

Auch die Bitfehler (BER) vor Viterbi unterliegen der Grenze von $1,0 * 10^{-2}$. Das Maskenfilter hat keine nennenswerten Auswirkungen auf die Parameter der Modulationsfehler.

5.1.1.7.2 Modulationsfehlerrate über der Frequenz



Abbildung 44 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 45 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 46 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 47 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die MER über der Frequenz weist für alle drei Sendefrequenzen einen gleich guten Wert auf. Am Rande der Kanalmitte ist die MER sogar noch einmal geringfügig besser. Der geringere MER-Wert in der Kanalmitte kann auf Gleichspannungsfehler zurückgeführt werden. Da der Träger 0, also der Träger in der Mitte, nicht verwendet wird, ist dies auch nicht besonders störend. Durch das Maskenfilter wird die Modulationsfehlerrate über der Frequenz nicht verschlechtert.

5.1.1.8 Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und zur Einhaltung der DAB Spektrumsmaske

In diesem Kapitel werden die Außerbandanteile des B200 untersucht. Es werden die Oberwellen, sowie auch die Einhaltung der DAB-Maske beurteilt.



5.1.1.8.1 Messung der Oberwellen

Abbildung 48 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 49 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 50 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 51 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Es ist deutlich sichtbar, dass der B200 bei Vielfachen der Sendefrequenz harmonische Oberwellen erzeugt. Starke Oberwellen werden bei ungeraden Vielfachen der Sendefrequenz erzeugt. Die Oberwellen treten aufgrund des Modulationsvorganges und eventuellen Nichtlinearitäten auf. Es lässt sich feststellen, dass das Signal vor dem Senden nicht noch einmal intern gefiltert wird, sondern breitbandig ausgesendet wird. Durch den Einsatz des Maskenfilters lassen sich diese Oberwellen komplett wegdämpfen. Lediglich beim Neunfachen der Sendefrequenz treten Oberwellen auf. Diese Oberwellen werden nicht weggedämpft, da es sich bei dem Maskenfilter um ein Resonanzfilter handelt und die Ordnung des Filters endlich ist.



5.1.1.8.2 Messung der DAB-Spektrumsmaske

Abbildung 52 DAB-Spektrumsmaske B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A ETL



Abbildung 53 DAB-Spektrumsmaske B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A ESRP

Durch den Einsatz des Maskenfilters wird die DAB-Spektrumsmaske eingehalten. Die Vergleichsmessung mit dem ESRP (Abbildung 53) zeigt, dass hier der B200 auch ohne die digitale Vorverzerrung jedoch mit dem Einsatz des Maskenfilters die Spektrumsmaske einhält.

5.1.1.9 Gesamtübersicht der Parameter

R&S ETL Digital Overview S/N 105146, FW 3.40						V 3.40		
Ch: RF 174.928000 MHz T-DMB/DAB								
* Att 5 dB								
ExpLvI - 5	ExpLvI - 51.80 dBm							
Ensemble	: LMK-Radi	0		Date & Time(UTC):	03.07.2018, 1	3:14:44		
Pa	ss	Limit	<	Results	< Limit	Unit		
Level		-60.0		-28.4	10.0	dBm		
Sideband				Normal				
Transmiss	sion Mode			Mode I, 1536 carriers				
Carrier Fr	eq Offset	-30000.0		380.0	30000.0	Hz		
Bit Rate C	offset	-20.0		2.2	20.0	ppm		
MER/EVM	(rms)	24.0		37.6		dB		
MER/EVM	(peak)	10.0		25.9		dB		
BER befor	e Viterbi			0.0e-7(14/100)	1.0e-2			
FIB Errors				0	1	/s		
Subchan	nel neremet	ere (Sub(bId					
BED befor				Not applicable	2.00-4			
DER Delo	e KS		-	Not applicable	2.0e-4			
PS Packet Er			-	Not applicable	1.0e-8	10		
MDEC To I	Diturate		-	Not applicable	1	/S		
IVI - 29 4dBm I		I MED 27	GdB		FIC	KDIC/S		

Abbildung 54 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A

R&S ETL Digital Overview S/N 105146, FW 3.40								
Ch:	Ch: RF 202.928000 MHz T-DMB/DAB							
*	* Att 0 dB							
	ExpLvi - 52.50 dBm							
	Dete 0 Time(UT0) (02.07.2010.12)(20.07							
	Pass	Limit <		Results	< Limit	Unit		
	Level	-60.0		-28.6	10.0	dBm		
	Sideband			Normal				
	Transmission Mode		M	ode I, 1536 carriers				
	Carrier Freq Offset	-30000.0		440.3	30000.0	Hz		
	Bit Rate Offset	-20.0		2.2	20.0	ppm		
	MER/EVM (rms)	24.0		37.3		dB		
	MER/EVM (peak)	10.0		26.6		dB		
OLim	BER before Viterbi			0.0e-7(82/100)	1.0e-2			
OLIIII	FIB Errors			0	1	/s		
Subchannel parameters (SubChId, Type)								
	BER before RS			Not applicable	2.0e-4			
PS	Packet Error Ratio			Not applicable	1.0e-8			
	Packet Errors			Not applicable	1	/s		
	MPEG Ts Bitrate			Not applicable		kbit/s		
LVL-1	vI - 28.6dBm L BER 0.0e-7 L MER 37.3dB DEMOD							

Abbildung 55 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A

R&S Ch: ·	SETL Digital Overview S/N 105146, RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB						V3.40
•	Att 0 dB ExpLvI - 51.10 dBm						
	Ensemble: LMK-Ra	dio	Da	te & Time	(UTC):	3.07.2018, 1	2:38:1
	Pass	Limit «	:	Results		< Limit	Unit
	Level	-60.0			-28.7	10.0	dBm
	Sideband				Normal		
	Transmission Mode		Mod	e I, 1536 (arriers		
	Carrier Freq Offset	-30000.0			487.5	30000.0	Hz
	Bit Rate Offset	-20.0			2.2	20.0	ppm
	MER/EVM (rms)	24.0			38.1		dB
	MER/EVM (peak)	10.0			25.9		dB
<u></u>	BER before Viterbi			0.0e-7(2	2/100)	1.0e-2	
OLIM	FIB Errors				0	1	/s
	Subchannel param	eters (SubC	hId,	Type)		
	BER before RS			Not ap	blicable	2.0e-4	
PS	Packet Error Ratio			Not ap	olicable	1.0e-8	
	Packet Errors			Not ap	olicable	1	/s
	MPEG Ts Bitrate			Not ap	olicable		kbit/s
Lvl - 2	8.7dBm BER 0.0e-	7 MER 38	1dB D	EMOD		FIC	

Abbildung 56 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A

R&.5	ETL Digital Ove	05146, FV	3.40					
Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB								
*	* Att 0 dB							
	ExpLvl - 51.60 dBm							
	Ensemble: LMK-Ra	dio	Date & Time(UTC):	06.07.2018, 0	8:33:34			
	Pass	Limit	< Results	< Limit	Unit			
	Level	-60.0	-31.2	10.0	dBm			
	Sideband		Normal					
	Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers					
	Carrier Freq Offset	-30000.0	487.8	30000.0	Hz			
	Bit Rate Offset	-20.0	2.2	20.0	ppm			
	MER/EVM (rms)	24.0	37.8		dB			
	MER/EVM (peak)	10.0	26.6		dB			
Olim	BER before Viterbi		0.0e-7(64/100)	1.0e-2				
ULIIII	FIB Errors		0	1	/s			
	Subshannel param	ators (SubC	hid Type					
	BED before DC	eters (Subc	Net applicable	2.00.4				
Tdf	Der before KS		Not applicable	2.08-4				
PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8	10			
	MDEC To Bitrato		Not applicable	1	/S khit/c			
171-3	A 2dBm BER 0.00-	7 MED 37		FIC	KDIL/S			
LVI - 3	vI - 31.2dBm BER 0.0e-7 MER 37.8dB DEMOD FIC							

Abbildung 57 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die Gesamtübersicht des ETL zeigt die Leistung des gesendeten Signals an. Sie beträgt für alle drei Sendefrequenzen den nahezu gleichen Wert und liegt bei ca. -28,6 dBm. Es handelt sich hierbei um die gedämpfte Leistung. Die eingestellte Dämpfung von 30 dB muss noch hinzuaddiert werden, weshalb die Leistung schlussendlich ca. 1,4 dBm beträgt. Die Leistung für die Messung mit dem Maskenfilter ist etwas geringer, da das Maskenfilter ebenfalls eine geringe Dämpfung aufweist. Ein weiterer Parameter, der die Gesamtübersicht anzeigt, ist die Frequenzgenauigkeit (Carrier Freq. Offset). Die Frequenzgenauigkeit spielt eine Rolle bei Gleichwellennetzen. Im unteren Kanalband ist sie um ca. 100 Hz genauer als im oberen Kanal 12A.

5.1.1.10 Fazit des B200 ohne digitale Vorverzerrung

Der B200 ohne die digitale Vorverzerrung hat alle Kriterien erfüllt, die zur Übertragung eines DAB-Signals im VHF-Band-III erfüllt werden müssen. Außerdem wurden keine nennenswerten Unterschiede zwischen den einzelnen Frequenzen festgestellt. Dies bedeutet, dass er für die Übertragung von DAB geeignet ist. Die Messergebnisse sind in Tabelle 3 nochmals zusammengefasst worden.

Der Schulterabstand betrug ca. -41 dB, was einem sehr guten Wert entspricht. Dieser Wert ist sogar um 11 dB besser als die Grenze von -30 dB. Durch Messungen der Amplitude, Phase, Gruppenlaufzeit und des IQ-Ungleichgewichts wurde bewiesen, dass der B200 sehr rauscharm arbeitet. Auch die Messung der Modulationsfehlerrate hat ein gutes Ergebnis erzielt, das über der Grenze der Norm liegt.

Die Messung zur Einhaltung der DAB-Maske war nur mit einem Maskenfilter möglich. Um die Einhaltung zu garantieren, sollte im Betrieb das Maskenfilter eingesetzt werden. Nicht nur zur Einhaltung der DAB-Maske, sondern auch zur Unterdrückung der Oberwellen, denn der B200 hat sehr viele starke Oberwellen produziert und um somit keine anderen Frequenzen zu stören, sollte das Maskenfilter eingesetzt werden. Ein weiterer Grund für die Verwendung des Maskenfilters ist die Intermodulationsproblematik, die durch Rückwirkungen der Antenne entsteht. Das Filter verhindert, dass Leistungen in den Sender eingespielt werden, die außerhalb der Sendefrequenz liegen.

Die Leistung des B200 ist nicht sonderlich groß. Um einen großen Bereich mit DAB abdecken zu können, sollte ein Verstärker eingesetzt werden. Es gilt hierbei zu beachten, dass die Messung der Kriterien zur Übertragung von DAB nochmals durchgeführt werden müssen. Tabelle 3 Messergebnisse B200 ohne digitale Vorverzerrung

B200 ohne digitale Vorverzerrung	Kanal 5A	Kanal 9A	Kanal 12A	Kanal 12A mit Maskenfilter
Schulterabstand in dB	-41,62	-42,53	-42,57	-58,22
Crestfaktor in dB	12,92	12,81	13,10	12,83
Amplitudenänderung im Kanal in dB	0,61	0,64	0,60	1,60
Phasenänderung im Kanal in °	0,58	0,81	0,70	35,74
Amplitudengang im Kanal in dB	0,62	0,60	0,67	1,63
Gruppenlaufzeit im Kanal in ns	46,72	40,96	41,40	640,47
Amplituden- ungleichgewicht in %	0,05	0,06	-0,09	-0,09
Quadraturfehler in °	-0,05	0,01	-0,02	0,02
MER (RMS) in dB	36,9	37,7	36,9	38,2
EVM (RMS) in %	1,43	1,30	1,43	1,23
BER before Viterbi	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁷
Frequenzgenauigkeit in Hz	380	487,5	440,3	487,8
Gedämpfte (30 dB) Leistung in dB	-28,4	-28,7	-28,6	-31,2

5.1.2 B200 mit Vorverzerrung

Beim B200 mit der digitalen Vorverzerrung von Mathias Brändli wurde zuerst die bestmögliche Leistung herausgefunden. Hierbei wurde die Qualität des Spektrums, sowie die Qualität der Modulationsfehlerrate betrachtet. Bei der Betrachtung wurde der TX-Gain der digitalen Vorverzerrung des ODR-DabMod variiert. Informationen zur digitalen Vorverzerrung können unter [14] entnommen werden.



Abbildung 58 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung B200 mit digitaler Vorverzerrung

	тх	Externe Dämpfung in dB
Blau	89	30
Schwarz	80	20
Grün	60	0

Das blaue Spektrum mit einem eingestellten TX-Gain-Wert von 89 zeigt deutliche Schultern auf. Wohingegen das schwarze und grüne Spektrum mit den Werten 80 und 60 keine Schultern aufzeigen. Hier ist die beste Möglichkeit mit einem Wert von 80 zu arbeiten, da hier die Leistung im Gegensatz zu dem grünen Spektrum mit dem Wert 60 um 20 dB deutlich größer ist.

Tabelle 5 MER in /	Abhängigkeit der	Leistung B200 mit	t digitaler \	Vorverzerrung
	55	5	5	5

TXGain	MER _{rms} in dB	Externe	Gedämpfte	Leistung in dBm
		Dämpfung in dB	Leistung in dBm	
60	37,1	0	-21,2	-21,2
80	37,1	20	-21,1	-1,1
89	33	30	-22,3	7,7

Tabelle 5 zeigt die Messwerte der Modulationsfehlerrate (MER) in dB, die eingestellte externe Dämpfung des Dämpfungsgliedes, die im ETL gemessene gedämpfte Leistung nach dem Dämpfungsglied in dBm und die tatsächliche Leistung des B200 in dBm. Um eine Vergleichbarkeit der gemessenen Werte des B200 mit digitaler Vorverzerrung zu erhalten, wurde das Dämpfungsglied so eingestellt, dass im ETL jeweils die gleiche Leistung gemessen wird.

Die Modulationsfehlerrate für den eingestellten TX-Gain-Wert 89 beträgt 33 dB. Der Wert für die TX-Gain-Werte 80 und 60 sind identisch. Auch hier wird wieder der Wert 80 gewählt, denn die Sendeleistung ist im Vergleich zum Wert 60 um 20 dB größer.

Aufgrund dessen, dass die Qualität des Spektrums und die Qualität der Modulationsfehlerrate beim TX-Gain-Wert von 80 das bestmögliche Ergebnis erzielt hat, wird dieser Wert als Einstellung der Leistung gewählt.



5.1.2.1 Messung des OFDM-Schulterabstands

Abbildung 59 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 60 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A


Abbildung 61 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 62 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Zwischen den drei Sendefrequenzen sind keine deutlichen Unterschiede zu erkennen. Der Schulterabstand für alle drei Sendefrequenzen beträgt ca. -55 dB. Die Grenze von -30 dB wird hierbei deutlich eingehalten. Durch den Einsatz des Maskenfilters wurde der Schulterabstand nochmals verbessert und beträgt nun -66 dB (Abbildung 62).

5.1.2.2 Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und Bestimmung des Crestfaktors in Abhängigkeit der Sendeleistung



Abbildung 63 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 64 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 65 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A

Abbildung 66 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Der Crestfaktor für die drei Sendefrequenzen liegt bei Kanal 5A bei 12,76 dB, für Kanal 9A bei 13,22 dB und für den Kanal 12A bei 12,93 dB. Er ist somit für jede Frequenz annähernd gleich. Auch durch den Einsatz des Maskenfilters verschlechtert oder verbessert sich der Crestfaktor nicht. Er liegt hier bei 13,12 dB. Somit überschreitet der Crestfaktor im Kanal 12A geringfügig die in der Norm festgesetzte Grenze von 13 dB.

5.1.2.3 Messung der Amplitude und Phase im Kanal



Abbildung 67 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 68 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 69 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A

Abbildung 70 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die Amplituden- und Phasenänderung über der Frequenz aller COFDM-Träger ist für die drei Sendefrequenzen sehr gering. Die Amplitudenänderung weist einen Wert von ca. 1,05 dB auf und die Phasenänderung von 0,66°. Das zeigt, dass auch durch die digitale Vorverzerrung der B200 weiterhin sehr rauscharm arbeitet. Durch den Einsatz des Maskenfilters wird die Amplitude- und Phasenänderung verschlechtert. Die Amplitudenänderung zwischen den COFDM-Trägern beträgt jetzt 2,06 dB und die Phasenänderung zwischen den Trägern beträgt 35,92°.

5.1.2.4 Messung der Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal



Abbildung 71 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 72 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 73 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A

Abbildung 74 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Der Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit sind für alle drei Sendefrequenzen annähernd gleich. Der Amplitudengang beträgt ca. 1,05 dB und die Gruppenlaufzeit ca. 42.08 ns. Der Amplitudengang weist an den Rändern des OFDM-Signales leichte Einbrüche auf. Durch das Maskenfilter wird auch hier der Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit verschlechtert. Der Amplitudengang wird um 1 dB schlechter und beträgt nun 2,06 dB, während die Gruppenlaufzeit nun 629,88 ns beträgt.

5.1.2.5 Messung des IQ-Ungleichgewichts



Abbildung 75 IQ-Ungleichgewicht B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 76 IQ-Ungleichgewicht B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 78 IQ-Ungleichgewicht B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Das IQ-Ungleichgewicht ist kaum auflösbar. So beträgt die Amplitudenungleichheit nur 0,14 % und Phasenfehler sind mit 0,04° fast nicht auflösbar. Es zeigt sich, dass der B200 trotz der digitalen Vorverzerrung weiterhin rauscharm arbeitet. Das Maskenfilter hat keine Auswirkungen auf das IQ-Ungleichgewicht.

5.1.2.6 Messung des Konstellationsdiagramm

Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 79 Konstellationsdiagramm B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 80 Konstellationsdiagramm B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 81 Konstellationsdiagramm B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A

R&S ETL Constellation	S/N 105146, FW 3.40
Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB	
ExpLvl -42.00 dBm *Att 10 dB	
OLim	
Tdf	
PS	
LvI - 23.8dBm BER 0.0e-7 MER 37.3dB DEMOD	FIC Symb 5.0000e+001

Abbildung 82 Konstellationsdiagramm B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Das Konstellationsdiagramm zeigt für den B200 mit der digitalen Vorverzerrung für alle drei Sendefrequenzen einen ähnlich guten Effekt. Die Punkte sind nicht wolkenähnlich verzerrt. Durch den Einsatz des Maskenfilters verändert sich das Konstellationsdiagramm nicht sichtbar.

5.1.2.7 Messung der Modulationsfehlerrate

Die Messung der Modulationsfehlerrate wird einmal über der Frequenz für alle Träger ermittelt und einmal als Tabelle durch den ETL ermittelt. Die folgenden Kanäle wurden gemessen: Kanal 5A, Kanal 9A, Kanal 12A und Kanal 12A mit Maskenfilter.

C/N 10E146 EW 2 40

5.1.2.7.1 Gesamtübersicht der Modulationsfehlerrate

R& 5	ETL Modulation E	S/N 10	5146, F	W 3.40				
Ch: -	RF 174.928000							
	···· ····,····,							
*	Att 10 dB							
	ExpLvI -40.00 dBm							
	Dage	Limit <	Deculto	< Limit	Unit			
	Pass		Results		Unit			
	Level	-60.0	-20.8	10.0	abm			
	Carrier to Noise	15.0	61.6		dB			
	MER (rms)	24.0	36.6		dB			
OLim	MER (peak)	10.0	24.7		dB			
	EVM (rms)		1.48	4.40	%			
	EVM (peak)		5.81	22.00	%			
	BER bef. Viterbi		0.0e-7(71/100)	1.0e-2				
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-6(523/1K00)	1.0e-2				
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-7(66/100)	1.0e-2				
LvI - 2	0.8dBm BER 0.0e-7	MER 36.6d	B DEMOD	FIC				

Abbildung 83 Modulationsfehler B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A

R&S ETL Modulation Errors				5/N 10	5146, F	W 3.40		
Ch: -	Ch: RF 202.928000 MHz T-DMB/DAB							
•	Att 10 dB ExpLvI-40.00 dBm							
	Pass	Limit <	Resul	ts	< Limit	Unit		
	Level	-60.0		-20.9	10.0	dBm		
	Carrier to Noise	15.0		61.9		dB		
	MER (rms)	24.0		37.8		dB		
OLim	MER (peak)	10.0		25.9		dB		
	EVM (rms)			1.29	4.40	%		
	EVM (peak)			5.07	22.00	%		
	BER bef. Viterbi		0.0e-8(1	27/1K00)	1.0e-2			
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-6(9	09/1K00)	1.0e-2			
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-8(1	18/1K00)	1.0e-2			
111-2	0 9dBm BER 0 0e-8	MER 37 80	1B DEMOD		FIC			

Abbildung 84 Modulationsfehler B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A

Ch: -	RF 223.936000	MHz T-D	MB/DAB		
*	Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBm				
	Pass	Limit <	c Results	< Limit	Unit
	Pass Level	Limit <	Results	< Limit 10.0	Unit dBm
	Pass Level Carrier to Noise	Limit < -60.0 15.0	Results -21.1 61.6	< Limit 10.0	Unit dBm dB
	Pass Level Carrier to Noise MER (rms)	Limit < -60.0 15.0 24.0	< Results -21.1 61.6 38.2	< Limit 10.0	Unit dBm dB dB
OLim	Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak)	Limit < -60.0 15.0 24.0 10.0	< Results -21.1 61.6 38.2 25.9	< Limit 10.0	Unit dBm dB dB dB
OLim	Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms)	Limit < -60.0 15.0 24.0 10.0 	< Results -21.1 61.6 38.2 25.9 1.23	< Limit 10.0 4.40	Unit dBm dB dB dB dB
OLim	Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak)	Limit < -60.0 15.0 24.0 10.0 	< Results -21.1 61.6 38.2 25.9 1.23 5.07	< Limit 10.0 4.40 22.00	Unit dBm dB dB dB %
OLim	Pass Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi	Limit < -60.0 15.0 24.0 10.0 	< Results -21.1 61.6 38.2 25.9 1.23 5.07 0.0e-7(36/100)	< Limit 10.0 4.40 22.00 1.0e-2	Unit dBm dB dB dB %
OLim PS	Pass Level Carrier to Noise MER (rms) EVR (peak) EVM (peak) BER bef. Viterbi FIC	Limit < -60.0 15.0 24.0 10.0	< Results -21.1 61.6 38.2 25.9 1.23 5.07 0.0e-7(36/100) 0.0e-6(279/1K00)	< Limit 10.0 4.40 22.00 1.0e-2 1.0e-2	Unit dBm dB dB dB % %

Abbildung 85 Modulationsfehler B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A

R&S ETL Modulation Errors				5146, F	W 3.40				
Ch: ·	Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB								
*	Att 10 dB								
	ExpLvI -42.00 dBm								
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-23.8	10.0	dBm				
	Carrier to Noise	15.0	55.8		dB				
	MER (rms)	24.0	37.2		dB				
OLim	MER (peak)	10.0	23.5		dB				
	EVM (rms)		1.38	4.40	%				
	EVM (peak)		6.65	22.00	%				
Tdf	BER bef. Viterbi		0.0e-8(149/1K00)	1.0e-2					
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-7(1K06/10K0)	1.0e-2					
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-8(138/1K00)	1.0e-2					
LvI - 2	3.8dBm BER 0.0e-8	MER 37.20	dB DEMOD	FIC					

Abbildung 86 Modulationsfehler B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Der Effektivwert der Modulationsfehlerrate beträgt für alle drei Sendefrequenzen ungefähr den gleichen Wert. Der Effektivwert der EVM überschreitet die im ETL hinterlegte Grenze von 4.4 % nicht. Auch das Bitfehlerverhältnis wird bei keiner der drei eingestellten Frequenzen überschritten. Die hier im ETL hinterlegte Grenze von 1,0*10⁻² wird nicht überschritten. Das Maskenfilter zeigt keine Auswirkungen auf die Parameter.

5.1.2.7.2 Modulationsfehlerrate über der Frequenz



Abbildung 87 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 88 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 89 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 90 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die Modulationsfehlerrate über der Frequenz ist für alle drei Sendefrequenzen nahezu konstant. An den Rändern des Signals ist die MER geringfügig besser. In der Mitte des Kanals ist die MER etwas schlechter, was auf mangelnde Gleichspannungsunterdrückung zurückzuführen ist. Durch den Einsatz des Maskenfilters wird beim B200 mit digitaler Vorverzerrung die MER des Mittenträgers deutlich schlechter. Dies kann aber vernachlässigt werden, da der Träger in der Mitte der Nullträger ist und somit keine Information beinhaltet.

5.1.2.8 Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und zur Einhaltung der DAB Spektrumsmaske

In diesem Kapitel wird der Vergleich der erzeugten Oberwellen des B200 mit der digitalen Vorverzerrung auf den einzelnen Frequenzen beurteilt. Es wird außerdem die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske betrachtet. Bei der Messung der DAB-Spektrumsmaske wurde zum Vergleich eine Messung mit Hilfe des ETL durchgeführt und eine Messung mit Hilfe des ESRP.

5.1.2.8.1 Messung der Oberwellen



Abbildung 91 Oberwellen B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A



Abbildung 92 Oberwellen B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A



Abbildung 93 Oberwellen B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A



Abbildung 94 Oberwellen B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Auch mit der digitalen Vorverzerrung erzeugt der B200 starke Oberwellen, die zu ungeraden Vielfachen der Sendefrequenz auftreten. Es tritt zum Beispiel beim dritten Vielfachen der Sendefrequenz eine Oberwelle auf, die gerade einmal 10 dB niedriger als die Sendeleistung ist. Lediglich der Einsatz des Maskenfilters dämpft diese Oberwellen.



5.1.2.8.2 Messung der DAB-Spektrumsmaske





Abbildung 96 DAB-Spektrumsmaske B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A ESRP

Durch den Einsatz des Maskenfilters kann die DAB-Spektrumsmaske eingehalten werden. Eine Vergleichsmessung mit dem ESRP bestätigt dass auch hier die Spektrumsmaske eingehalten wird.

5.1.2.9 Gesamtübersicht der Parameter

R&.5	5 ETL Digital Ove	05146, FV	V 3.40					
Ch: ·	Ch: RF 174.928000 MHz T-DMB/DAB							
*	Att 10 dB							
	ExpLvl -40.00 dBm							
	Ensemble: DAB DG	Belgien		Date & Time(UTC):	5.07.2018, 1	1:47:56		
	Pass	Limit «	<	Results	< Limit	Unit		
	Level	-60.0		-20.8	10.0	dBm		
	Sideband			Normal				
	Transmission Mode		N	lode I, 1536 carriers				
	Carrier Freq Offset	-30000.0		376.0	30000.0	Hz		
	Bit Rate Offset	-20.0		2.1	20.0	ppm		
	MER/EVM (rms)	24.0		37.5		dB		
	MER/EVM (peak)	10.0		26.1		dB		
Olim	BER before Viterbi			0.0e-8(162/1K00)	1.0e-2			
ULIIII	FIB Errors			0	1	/s		
	Subchannel param	eters (SubC	bId -	Type)				
	BER before RS	cters (Sube		Not applicable	2 0e-4			
	Packet Error Patio			Not applicable	1.00-8			
PS	Packet Errors			Not applicable	1	/s		
	MPEG Ts Bitrate		1	Not applicable		kbit/s		
LvI - 2	LVI - 20.8dBm BER 0.0e-8 MER 37.5dB DEMOD FIC							

Abbildung 97 Gesamtübersicht B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A

R&S ETL Digital Overview S/N 105146, FW 3.40									
Ch: ·	Ch: RF 202.928000 MHz T-DMB/DAB								
*	Att 10 dB								
	ExpLvl -40.00 dBm								
	Ensemble: DAB DG	i Belgien	1	Date & Time(U	TC):	5.07.2018, 1	1:57:51		
	Pass	Limit <	:	Results		< Limit	Unit		
	Level	-60.0			-20.9	10.0	dBm		
	Sideband			No	ormal				
	Transmission Mode		М	ode I, 1536 car	riers				
	Carrier Freq Offset	-30000.0		4	36.4	30000.0	Hz		
	Bit Rate Offset	-20.0			2.1	20.0	ppm		
	MER/EVM (rms)	24.0			37.6		dB		
	MER/EVM (peak)	10.0			25.0		dB		
OLim	BER before Viterbi			0.0e-8(120/1	< 00)	1.0e-2			
OLIIII	FIB Errors				0	1	/s		
	Subchannel naram	eters (SubC	hīd	Type)					
	BED before PS	eters (Sube	intu -	Not appli	able	2.00-4			
	Backet Error Patio			Not applie		1.00-9			
PS	Packet Error Ratio			Not applic	able	1.0e-8	10		
	MDEC To Bitrato			Not applic		1	/S khit/c		
171-2	0. odBm BER 0.0e	8 MER 37	6dB		aule	FIC	KUIL/S		
LTI - 2	VI-20.9dBm BER 0.0e-8 MER 37.6dB DEMOD FIC								

Abbildung 98 Gesamtübersicht B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A

R&5	ETL Digital Ove	S/N 1	05146, FV	V 3.40						
Ch: -	h: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB									
*	* Att 10 dB									
	ExpLvI - 39.20 dBm									
	Energy DAR DC	Deleise		04.07.2010.0	0.52.47					
	Ensemble: DAD DG	beigien	Date & Time(UTC):	04.07.2018, 0	18:52:47					
	Pass		Kesuits		JDate					
	Level	-60.0	-21.1 Normal	10.0	abm					
	Sideband Transmission Mode		Normal Mada I, 1526 annian							
	Transmission Mode	20000	Mode 1, 1536 carriers							
	Carrier Freq Offset	-30000.0	484.2	30000.0	HZ					
	Bit Rate Offset	-20.0	2.2	20.0	ppm					
	MER/EVM (rms)	24.0	37.8		dB					
	MER/EVM (peak)	10.0	25.9		dB					
OI im	BER before Viterbi		0.0e-7(90/100)	1.0e-2						
OLIIII	FIB Errors		0	1	/s					
	Subchannel parame	eters (SubC	hId, Type)							
	BER before RS		Not applicable	2.0e-4						
PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8						
	Packet Errors		Not applicable	1	/s					
	MPEG Ts Bitrate		Not applicable		kbit/s					
Lvl - 2	1.1dBm BER 0.0e-	7 MER 37	.8dB DEMOD	FIC						

Abbildung 99 Gesamtübersicht B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A

R&.5	R&S ETL Digital Overview S/N 1						3.40		
Ch: ·	Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB								
				,					
*	Att 10 dB								
	ExpLvl -42.00 dBm								
	Ensemble: DAB DG	Belgien		Date & Time	(UTC):	06.07.2018, 0	7:53:08		
	Pass	Limit	<	Results		< Limit	Unit		
	Level	-60.0			-23.8	10.0	dBm		
	Sideband				Normal				
	Transmission Mode		N	lode I, 1536 (carriers				
	Carrier Freq Offset	-30000.0			485.7	30000.0	Hz		
	Bit Rate Offset	-20.0			2.2	20.0	ppm		
	MER/EVM (rms)	24.0			37.4		dB		
	MER/EVM (peak)	10.0			24.8		dB		
Olim	BER before Viterbi			0.0e-8(123	/1K00)	1.0e-2			
ULIIII	FIB Errors				0	1	/s		
	Subshapped param	ators (Sub(bId	Tupo	、				
		eters (Subt		, type) alies bla	2.00.4			
Tdf	Der before KS		-	Not ap	licable	2.08-4			
PS	Packet Error Ratio		+	Not ap	licable	1.0e-8	1-		
	MDEC To Ritroto		+	Not ap	Dicable	1	/5 (hit/a		
1.41 - 2	PIPEG IS BITRATE	Q I MED 27			plicable	FIC	KDIC/S		
LVI -2	S. SUBIT F BER 0.08-	O MEK 3/	.4ub	DEMOD		FIC			

Abbildung 100 Gesamtübersicht B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A

Die Gesamtübersicht der Parameter zeigt, dass der Pegel der Leistung für alle drei Sendefrequenzen bei etwa -20,9 dBm liegt. Lediglich der Pegel mit Einsatz des Maskenfilters (Abbildung 100) zeigt einen geringeren Wert an, da hier die ca. 1-2 dB Dämpfung des Maskenfilters noch aufaddiert wird. Es zeigt sich, dass sich Frequenzgenauigkeit mit zunehmender Sendefrequenz verschlechtert. So beträgt der Unterschied von Kanal 5A (Abbildung 97) zu Kanal 12A (Abbildung 99) ca. 110 Hz.

5.1.2.10 Fazit des B200 mit digitaler Vorverzerrung

Durch den Einsatz der verbesserten ODR-DAB-Modulator-Software, die eine digitale Vorverzerrung enthält, konnte auch hier der B200 alle Kriterien erfüllen, die es zur Übertragung im VHF-Band-III zu beachten gilt. Durch die Variation der Sendefrequenz konnte nachgewiesen werden, dass der B200 mit digitaler Vorverzerrung im VHF-Band-III nahezu konstant arbeitet. Eine Übersicht der Messergebnisse finden sich unter Tabelle 6.

Bedingt durch die digitale Vorverzerrung wurde ein Schulterabstand von ca. -55 dB erzielt. Dieser Schulterabstand liegt somit um 25 dB unter der Grenze von -30 dB. Durch den Einsatz des Maskenfilters wurde der Wert nochmals auf -66 dB verbessert. Der B200 arbeitet trotz der digitalen Vorverzerrung weiterhin sehr rauscharm. Dies wurde durch Messungen der Amplitude, Phase, Gruppenlaufzeit und IQ-Ungleichgewicht nachgewiesen. Auch die Modulationsrate zeigte ein sehr gutes Ergebnis, welches mit ca. 37 dB deutlich über der Norm von 25 dB liegt.

Durch den Einsatz des Maskenfilters konnte die DAB-Spektrumsmaske nach Case 2 eingehalten werden. Der B200 mit digitaler Vorverzerrung erzeugt jedoch weiterhin starke Oberwellen, die nur mit dem Maskenfilter reduziert werden konnten.

Der B200 sollte nur mit Maskenfilter betrieben werden, um die Einhaltung der Kriterien zur Übertragung im VHF-Band-III garantiert zu erfüllen. Außerdem sollte er mit einem Verstärker betrieben werden, um eine großflächige DAB-Versorgung zu erzeugen. Hier gilt es zu beachten, dass die Messungen erneut durchzuführen sind, da der Verstärker das Signal noch einmal beeinflusst.

Ein Vergleich zwischen B200 mit und ohne Vorverzerrung wird in Kapitel 5.2 vollzogen.

Tabelle 6 Messergebnisse B200 mit digitaler Vorverzerrung

B200 mit digitaler Vorverzerrung	Kanal 5A	Kanal 9A	Kanal 12A	Kanal 12A mit Maskenfilter
Schulterabstand in dB	-54,15	-55,54	-55,07	-66,51
Crestfaktor in dB	12,76	13,22	12,93	13,12
Amplitudenänderung im Kanal in dB	1,11	1,05	1,07	2,06
Phasenänderung im Kanal in °	0,75	0,66	0,68	35,92
Amplitudengang im Kanal in dB	1,05	1,03	1,05	2,06
Gruppenlaufzeit im Kanal in ns	43,83	37,59	42,08	629,88
Amplituden- ungleichgewicht in %	0,05	-0,13	0,14	0,16
Quadraturfehler in °	0,04	0,00	-0,02	-0,03
MER (RMS) in dB	36,6	37,8	38,2	37,2
EVM (RMS) in %	1,48	1,29	1,23	1,38
BER before Viterbi	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁸	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁸
Frequenzgenauigkeit in Hz	376	436,4	484,2	485,7
Gedämpfte (20 dB) Leistung in dB	-20,8	-20,9	-21,1	-23,8

5.1.3 Plischsender

Es wurde auch hier, vor den Messungen, die Qualität des Spektrums in Abhängigkeit zu der Sendeleistung betrachtet. Die Leistung des Plischsenders wurde hierbei über die Weboberfläche variiert. Außerdem wurde zur weiteren Betrachtung die Modulationsfehlerrate ermittelt.



Tabelle 7 Legende zu Abbildung 98

	Leistung in W	Externe Dämpfung in dB
Grün	180	63
Blau	90	60
Schwarz	45	67

Abbildung 101 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung Plisch

Das Spektrum wird mit zunehmender Leistung immer schlechter. Es ist zu erkennen, dass der Schulterabstand des grünen Spektrums (180 W) deutlich schlechter ist, als der Schulterabstand zum schwarzen Spektrum (45 W). Der beste Schulterabstand lässt sich somit mit einer Leistung von ca. 45 W erzielen.

Tabelle 8 MER in Abhängigkeit der Leistung Plisch

Loistung in W/	MER in dR Externe Ge		Gedämpfte	Leistung in dBm
Leistung in w		Dämpfung in dB	Leistung in dBm	
180	30,1	63	-10,7	52,3
90	39,9	60	-10,4	49,6
45	41,5	57	-10,4	46,6

Tabelle 8 zeigt die eingestellte Leistung im Plischsender in W an, die dazugehörige MER, die im Aufbau eingestellte externe Dämpfung der Dämpfungsglieder, sowie die im ETL gemessene gedämpfte Leistung in dBm und die tatsächliche ausgesendete Leistung in dBm. Durch die Variation der externen Dämpfung wurde erzielt, dass der ETL jeweils immer die gleiche Leistung misst. Aus der Tabelle lässt sich nun entnehmen, dass mit zunehmender Leistung die MER sich verschlechtert. So beträgt die MER bei einer eingestellten Leistung von 180 W ca. 30,1 dB. Die MER für die Leistung von 45 W beträgt 41,1 dB. Aufgrund, dass das Spektrum bei der Leistung von 45 W den besten Schulterabstand erzielt und die MER mit 41,5 dB den größten Wert beträgt, wird in den weiteren Messungen die Leistung auf 45 W in der Weboberfläche des Plischsenders eingestellt.

5.1.3.1 Messung des OFDM-Schulterabstands



Abbildung 102 Schulterabstand Plischsender Kanal 5A



Abbildung 103 Schulterabstand Plischsender Kanal 9A



Abbildung 104 Schulterabstand Plischsender Kanal 12A



Abbildung 105 Schulterabstand Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Der Schulterabstand des Plischsenders ist für alle drei Sendefrequenzen konstant gut. Für den Kanal 5A beträgt der Schulterabstand -49,19 dB. Die festgelegte Grenze der Norm von

mindestens -30 dB wird hier deutlich eingehalten. Der Schulterabstand für den Kanal 12A beträgt ca. -53,9 dB, wodurch hier die Grenze nochmals deutlich eingehalten wird. Durch das Maskenfilter wird der Schulterabstand nochmals verbessert und beträgt ca. -68,84 dB. Mit einem Maskenfilter, das für die Kanäle 5A und 9A abgestimmt ist, könnte auch hier der Schulterabstand nochmals deutlich verbessert werden. Der geringe Unterschied des Schulterabstandes zwischen den einzelnen Frequenzen kann auf die interne Vorverzerrung zurückgeführt werden. Durch eine längere Laufzeit der Vorverzerrung wird der Schulterabstand nochmals geringfügig zunehmen.

5.1.3.2 Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und Bestimmung des Crestfaktors in Abhängigkeit der Sendeleistung



Abbildung 106 Crestfaktor Plischsender Kanal 5A



Abbildung 107 Crestfaktor Plischsender Kanal 9A



Abbildung 108 Crestfaktor Plischsender Kanal 12A



Abbildung 109 Crestfaktor Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A Der Crestfaktor des Plischsenders ist für den Kanal 5A am geringsten. Hier beträgt das Verhältnis von Effektivwert zu Spitzenwert der Leistung ca. 9,92 dB. Der Crestfaktor für den Kanal 12A und 9A sind weitestgehend identisch und betragen ca. 11 dB. Somit wird für alle drei Sendefrequenzen die Grenze kleiner als 13 dB erfüllt.



5.1.3.3 Messung der Amplitude und Phase im Kanal

Abbildung 110 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender Kanal 5A



Abbildung 111 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender Kanal 9A



Abbildung 112 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender Kanal 12A



Abbildung 113 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Die Amplituden- und Phasenänderung über der Frequenz ist für alle drei Sendefrequenzen nahezu konstant. Für den Kanal 5A beträgt die Amplitudenänderung 0,61 dB und die Phasenänderung 0,77 °. Die Amplitudenänderung für den Kanal 12A und 9A beträgt 0,23 dB, was einem Unterschied zu Kanal 5A von 0,38 dB entspricht. Die Phasenänderung für den

Kanal 5A beträgt 0,77 °, für den Kanal 9A beträgt sie 0,68 ° und für den Kanal 12A beträgt sie 0,65 °. Bei der Phasenänderung gibt es keine größeren Änderungen. Durch den Einsatz des Maskenfilters verschlechtern sich die Amplituden- und Phasenänderung. Die Amplitude weist eine Änderung von 1,21 dB auf und die Phasenänderung beträgt 35,33 °.



5.1.3.4 Messung der Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal

Abbildung 114 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender Kanal 5A



Abbildung 115 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender Kanal 9A



Abbildung 116 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender Kanal 12A



Abbildung 117 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Auch der Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit sind nahezu konstant für alle drei Sendefrequenzen. Der Amplitudengang beträgt für Kanal 12A 0,20 dB und die Gruppenlaufzeit beträgt 52,5 ns. Für den Kanal 5A wurde ein Amplitudengang von 0,62 dB ermittelt und eine Gruppenlaufzeit von 57,65 ns. Im Kanal 5A nimmt die Amplitude mit zunehmender Frequenz geringfügig zu. Der Einsatz des Maskenfilters verschlechtert auch hier die Werte deutlich.

5.1.3.5 Messung des IQ-Ungleichgewichts



Abbildung 118 IQ-Ungleichgewicht Plischsender Kanal 5A



Abbildung 119 IQ-Ungleichgewicht Plischsender Kanal 9A



Abbildung 120 IQ-Ungleichgewicht Plischsender Kanal 12A



Abbildung 121 IQ-Ungleichgewicht Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Das IQ-Ungleichgewicht ist für alle drei Sendefrequenzen gleich gut. Der Amplitudenfehler liegt bei ca. 0,01 % -0,07 % und der Phasenfehler der IQ-Komponenten ist so gering, dass er sich nicht auflösen lässt. Der Einsatz des Maskenfilters hat auf das IQ-Ungleichgewicht keine Auswirkungen.

5.1.3.6 Messung des Konstellationsdiagramm



Abbildung 122 Konstellationsdiagramm Plischsender Kanal 5A

R&S ETL Constellation	S/N 105	259, FW 3.50
Ch: RF 202.928000 MHz T-D	OMB/DAB	
ExpLvl - 36.40 dBm	*Att 15 dB	
•		
OLim	•	
PS		
Lvl -13.5dBm BER 0.0e-6 MER 41.7	7dB DEMOD FIC Sym	b 5.0000e+001

Abbildung 123 Konstellationsdiagramm Plischsender Kanal 9A



Abbildung 124 Konstellationsdiagramm Plischsender Kanal 12A

R&S	ETL Constellation		S/N 105	259, FW 3.50
Ch:	- RF 223.936000 MHz	T-DMB/DAB		
E	xpLvI - 36.40 dBm	*Att 15 dB		
	•	•		
OLim				
- 1	•	•		
Tdf				
PS				
L				
Lvl - 16	.0dBm BER 3.6e-7 MER	42.2dB DEMOD	FIC Syn	nb 5.0000e+001

Abbildung 125 Konstellationsdiagramm Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Die Konstellationsdiagramme für die drei Sendefrequenzen sind sehr gut, da sich kein wolkenähnlicher Effekt zeigt. Dadurch lässt sich nachweisen, dass der Plischsender sehr rauscharm arbeitet. Durch das Maskenfilter (Abbildung 125) entstehen keine Veränderungen des Konstellationsdiagramms.

5.1.3.7 Messung der Modulationsfehlerrate

Die Messung der Modulationsfehlerrate wird einmal über der Frequenz für alle Träger ermittelt und einmal als Tabelle durch den ETL ermittelt. Die folgenden Kanäle wurden gemessen: Kanal 5A, Kanal 9A, Kanal 12A und Kanal 12A mit Maskenfilter.

5.1.3.7.1 Gesamtübersicht der Modulationsfehlerrate

R&S ETL Modulation Errors S/N 105259, FW 3.5 Ch: RF 174.928000 MHz T-DMB/DAB									
* Att 15 dB ExpLvl - 36.40 dBm									
	_								
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-13.4	10.0	dBm				
	Carrier to Noise	15.0	68.1		dB				
	MER (rms)	24.0	40.5		dB				
OLim	MER (peak)	10.0	28.1		dB				
	EVM (rms)		0.94	4.40	%				
	EVM (peak)		3.91	22.00	%				
	BER bef. Viterbi		0.0e-7(53/100)	1.0e-2					
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-7(1K55/10K0)	1.0e-2					
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-7(37/100)	1.0e-2					
Lvl - 1	3.4dBm BER 0.0e-7	MER 40.5	dB DEMOD	FIC					

Abbildung 126 Modulationsfehlerrate Plischsender Kanal 5A

R&S ETL Modulation Errors S/N 105259, FW 3.50									
Ch: RF 202.928000 MHz T-DMB/DAB									
* Att 15 dB									
ExpLvI - 36.40 dBm									
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-13.5	10.0	dBm				
	Carrier to Noise	15.0	68.0		dB				
	MER (rms)	24.0	41.6		dB				
OLim	MER (peak)	10.0	28.6		dB				
	EVM (rms)		0.83	4.40	%				
	EVM (peak)		3.73	22.00	%				
	BER bef. Viterbi		0.0e-8(198/1K00)	1.0e-2					
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-7(5K90/10K0)	1.0e-2					
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-8(141/1K00)	1.0e-2					
LVI - 1	13.5dBm BER 0.0e-8	MER 41.6d	IB DEMOD	FIC					

Abbildung 127 Modulationsfehlerrate Plischsender Kanal 9A

R&.5	5 ETL Modulation E	5259, F	W 3.50						
Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB									
* Att 15 dB									
ExpLvI - 36.40 dBm									
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-13.7	10.0	dBm				
	Carrier to Noise	15.0	68.0		dB				
	MER (rms)	24.0	41.9		dB				
OLim	MER (peak)	10.0	28.8		dB				
	EVM (rms)		0.80	4.40	%				
	EVM (peak)		3.64	22.00	%				
	BER bef. Viterbi		0.0e-8(138/1K00)	1.0e-2					
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-7(3K88/10K0)	1.0e-2					
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-7(99/100)	1.0e-2					
Lvl - 1	13.7dBm BER 0.0e-8	MER 41.9d	B DEMOD	FIC					

Abbildung 128 Modulationsfehlerrate Plischsender Kanal 12A

R&S ETL Modulation Errors S/N 105259, FW 3.50									
Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB									
*	* Att 15 dB								
	ExpLvI - 36.40 dBm								
	Pass	Limit c	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-16.0	10.0					
				10.0	I a B m I				
	Carrier to Noise	15.0	66.3	10.0	dBm dB				
	Carrier to Noise MER (rms)	15.0 24.0	66.3 42.2		dB dB dB				
OLim	Carrier to Noise MER (rms) MER (peak)	15.0 24.0 10.0	66.3 42.2 28.3		dB dB dB dB				
OLim	Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms)	15.0 24.0 10.0	66.3 42.2 28.3 0.78	4.40	dB dB dB dB %				
OLim	Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak)	15.0 24.0 10.0 	66.3 42.2 28.3 0.78 3.85	 4.40 22.00	dB dB dB dB %				
OLim Tdf	Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi	15.0 24.0 10.0 	66.3 42.2 28.3 0.78 3.85 5.0e-7(55/100)	 4.40 22.00 1.0e-2	dBm dB dB dB %				
OLim Tdf PS	Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi BER bef. Viterbi FIC	15.0 24.0 10.0 	66.3 42.2 28.3 0.78 3.85 5.0e-7(55/100) 0.0e-7(4K70/10K0)	4.40 22.00 1.0e-2	dBm dB dB dB %				
OLim Tdf PS	Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi BER bef. Viterbi FIC BER bef. Viterbi MSC	15.0 24.0 10.0 	66.3 42.2 28.3 0.78 5.0e-7(55/100) 0.0e-7(4K70/10K0) 0.0e-7(29/100)	 4.40 22.00 1.0e-2 1.0e-2 1.0e-2	dBm dB dB % %				

Abbildung 129 Modulationsfehlerrate Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Die Modulationsfehlerrate ist auch hier für alle drei Sendefrequenzen konstant und weist einen sehr guten Wert auf. Der Effektivwert der MER beträgt für den Kanal 12A 41,9 dB, für den Kanal 9A 41,6 dB und für den Kanal 5A 40,5 dB. Die Grenze der Norm von mindestens 25 dB wird somit sehr deutlich eingehalten. Der EVM-Wert für alle drei Sendefrequenzen beträgt ca. 0,85 % und liegt somit sichtbar unterhalb der im ETL hinterlegten Grenze von 4,4 %. Die Bitfehler (BER) werden bei allen drei eingestellten Sendefrequenzen eingehalten. Das Maskenfilter hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Werte der Modulation.



5.1.3.7.2 Modulationsfehlerrate über der Frequenz





Abbildung 131 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender Kanal 9A



Abbildung 132 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender Kanal 12A



Abbildung 133 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

In dieser Messung wird die Modulationsfehlerrate über alle Träger des OFDM-Signals betrachtet. Es lässt sich erkennen, dass an den Rändern des Kanals für alle drei Sendefrequenzen die MER geringfügig besser ist. Das Maskenfilter beeinflusst den Verlauf der Modulationsfehlerrate nicht.

5.1.3.8 Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und zur Einhaltung der DAB Spektrumsmaske

Nachfolgend werden in diesem Kapitel die erzeugten Oberwellen des Plischsenders auf den einzelnen Kanälen betrachtet sowie die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske. Die Messung der DAB-Maske erfolgt mit dem ETL und als Vergleichsmessung mit dem ESRP.



5.1.3.8.1 Messung der Oberwellen

Abbildung 134 Oberwellen Plischsender Kanal 5A



Abbildung 135 Oberwellen Plischsender Kanal 9A



Abbildung 136 Oberwellen Plischsender Kanal 12A



Abbildung 137 Oberwellen Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Für alle drei Sendefrequenzen treten Oberwellen beim Zweifachen der Sendefrequenz auf. Für den Kanal 5A und 9A ist die entstehende Oberwelle um ca. 40 dB niedriger als der Pegel des Sendesignals. Für Kanal 12A ist der Pegel der Oberwelle um ca. 30 dB niedriger als der Pegel des Sendesignals. Durch den Einsatz des Maskenfilters (Abbildung 137) werden die Oberwellen gedämpft, wodurch nur noch der Pegel des Sendesignals bei 223,936 MHz sichtbar ist.



5.1.3.8.2 Messung der DAB-Spektrumsmaske



Abbildung 139 DAB-Spektrumsmaske Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A ESRP

Die DAB-Spektrumsmaske für den Case 2 wird durch den Einsatz des Maskenfilters eingehalten. Die Vergleichsmessung mit dem ESRP (Abbildung 139) zeigt auch hier, dass der Plischsender die Spektrumsmaske für den Case 2 einhält.

5.1.3.9 Gesamtübersicht der Parameter

R&S ETL Digital Overview S/N 105259, FW 3.50								
Ch:	Ch: RF 174.928000 MHz T-DMB/DAB							
* Att 15 dB								
	ExpLvl - 36.40 dBm							
	Ensemble: DAB DG	Belgien	Date & Time(UTC):2	24.09.2018, 1	1:07:04			
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit			
	Level	-60.0	-13.4	10.0	dBm			
	Sideband		Normal					
	Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers					
	Carrier Freq Offset	-30000.0	9.8	30000.0	Hz			
	Bit Rate Offset	-20.0	0.1	20.0	ppm			
	MER/EVM (rms)	24.0	40.6		dB			
	MER/EVM (peak)	10.0	28.3		dB			
01.1	BER before Viterbi		0.0e-7(37/100)	1.0e-2				
ULIII	FIB Errors		0	1	/s			
	Subshapped param	ators (SubCl	ald Type					
	PED before DC	eters (Subci	Net applies blo	2.00.4				
	DER Delore RS		Not applicable	2.0e-4				
PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8	,			
	Packet Errors		Not applicable	1	/S			
	MPEG Ts Bitrate	7 1 1 1 5 7 1 0	Not applicable	FIG	kbit/s			
LVI - 1	VI - 13.4dBm BER 0.0e-7 MER 40.6dB DEMOD FIC							

Abbildung 140 Gesamtübersicht Plischsender Kanal 5A

R&5	5 ETL Digital Ove	erview	S/N 1	05259, FV	V 3.50				
Ch: RF 202.928000 MHz T-DMB/DAB									
	.,								
*	* Att 15 dB								
	ExpLvI - 36.40 dBm								
	Ensemble: DAB DG	Belgien	Date & Time(UTC):	24.09.2018, 1	1:20:44				
	Pass	Limit •	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-13.5	10.0	dBm				
	Sideband		Normal						
	Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers						
	Carrier Freq Offset	-30000.0	12.8	30000.0	Hz				
	Bit Rate Offset	-20.0	0.1	20.0	ppm				
	MER/EVM (rms)	24.0	41.5		dB				
	MER/EVM (peak)	10.0	28.0		dB				
	BER before Viterbi		0.0e-8(187/1K00)	1.0e-2					
OLIM	FIB Errors		0	1	/s				
	Subchannel naram	eters (SubC	hId Type)						
	BED before PS	eters (Sube	Not applicable	2.00-4					
	DER Delote K3		Not applicable	2.08-4					
PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8	1				
	Packet Errors		Not applicable	1	/s				
1	MPEG Ts Bitrate	0 1 1450 44	Not applicable	FIG	kbit/s				
LVI - 1	vl -13.5dBm BER 0.0e-8 MER 41.5dB DEMOD FIC								

Abbildung 141 Gesamtübersicht Plischsender Kanal 9A

Abbildung 138 DAB-Spektrumsmaske Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A ETL

R&	5 ETL Digital Ove	erview	S/N 10)5259, FV	V 3.50	R80	ETL Digital Ove	erview	S/N 10	5259, FV	V 3.50
Ch:	RF 223.9360	00 MHz T-	DMB/DAB			Ch:	RF 223.9360	00 MHz T-0	OMB/DAB		
	Att 15 dB					*	Att 15 dB				
	EXPLVI - 36.40 dBm						EXPLVI - 36.40 dBm				
		Polaion	Data & Time(UTC)	6 00 2019 (19-26-47		Encomble: DAR DC	Polgion	Date & Time(UTC)	6 00 2019 0	0.52.02
	Dace	Limit	Date & Time(UTC):2	0.09.2010, (11nit		Elisellible: DAB DO	beigien	Date & Time(OTC):2	0.09.2010, 0	1121
	Pass		Results 4	10.0	dRm		Pass		Results 10.0	10.0	dBas
	Level	-60.0	-13.7	10.0	abm		Level	-60.0	-10.0	10.0	abm
	Transmission Mode		Mode I 1536 carriero		<u> </u>		Transmission Mode		Mode I 1536 carriero		
	Carrier Fred Offset	-30000.0	14.4	30000.0	H7		Carrier Fred Offset	-30000.0	15 2	30000.0	Hz
	Bit Rate Offset	-20.0	0.1	20.0	nnm		Bit Rate Offset	-20.0	0.1	20.0	nnm
	MER/EVM (rms)	24.0	42.1		dB		MER/EVM (rms)	24.0	41.7		dB
	MER/EVM (peak)	10.0	28.8		dB		MER/EVM (peak)	10.0	27.8		dB
	BER before Viterbi		0.0e-8(129/1K00)	1.0e-2			BER before Viterbi		5.7e-7(47/100)	1.0e-2	
OLim	FIB Errors		0	1	/s	OLim	FIB Errors		0	1	/s
	Subshannel param	ators (SubCk					Subshannel param	ators (SubCh	Id Type)		
	Subchannel param	eters (Subci	Net applies blo	2.0 0 1			Subchannel param	eters (Subch	Id, Type)	2.0- 4	
	DER Delore KS		Not applicable	2.08-4		Tdf	DER Delore KS		Not applicable	2.08-4	
PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.06-8	10	PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.06-8	10
	MREG To Bitrato		Not applicable	1	/S		MDEC To Bitrato		Not applicable	1	/S khit/c
IVI-	3.7dBm BFR 0.0e	8 MFR 42	1dB DEMOD	FIC	KUIC/S	1.41 - 1	6.0dBm BER 5.7e	7 MER 41 7		FIC	KUIL/S
LV1 .		0 1121 421				241 .		7 PER 417	DENOD	110	
Abb	ilduna 142 Ge	esamtübe	ersicht Plischsend	er Kana	112A	Abb	ilduna 143	Gesam	tübersicht Plisc	hsender	' mit

Abbildung 143 Gesamtübersicht Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A

Die Gesamtübersicht zeigt den Pegel der Leistung des gesendeten Signals. Für alle drei Sendefrequenzen ist der Pegel der Leistung ungefähr gleich groß. Da es sich hier um den gedämpften Pegel handelt, muss die eingestellte Dämpfung von 60 dB noch hinzuaddiert werden. Dies hat zur Folge, dass sich ein Leistungspegel von ca. 46,3 dBm ergibt, was ca. 43 W entspricht. Durch den Einsatz des Maskenfilters wird der Pegel nochmals um ca. 2 dB gedämpft. Die Frequenzgenauigkeit (Carrier Freq Offset) ist für alle drei Sendefrequenzen sehr gering, sie beträgt im Schnitt ca. 12 Hz. Durch das Maskenfilter wird die Genauigkeit um ca. 1-2 Hz verschlechtert.

5.1.3.10 Fazit des Plischsenders

Der Plischsender ist für die Übertragung im VHF-Band-III geeignet. Es zeigte sich, dass bei allen drei Sendefrequenzen die Kriterien zur Übertragung im VHF-Band III eingehalten wurden. In Tabelle 9 wurden die Messergebnisse des Plischsenders nochmals zusammengefasst.

Der Schulterabstand für alle drei Kanäle (5A, 9A, 12A) erzielte einen sehr guten Wert, der bei ca. -50 dB lag. Somit ist die Grenze von mindestens -30 dB sichtbar erfüllt worden. Der Schulterabstand des Kanals 12A mit Einsatz des Maskenfilters wurde deutlich verbessert auf -68,84 dB. Auch könnte der Schulterabstand der beiden anderen Kanäle durch den Einsatz eines auf die jeweils verwendeten Kanäle abgestimmtes Maskenfilter verbessert werden.

Die Messungen der Amplitudenänderung, der Phasenänderung, des Amplitudengangs und der Gruppenlaufzeit zeigten sehr geringe Werte.

Das IQ-Ungleichgewicht war für alle drei Sendefrequenzen gleich gut, hier konnten kaum Fehler festgestellt werden. Das Konstellationsdiagramm zeigte, dass das Signal rauscharm ist. Dies wurde anhand der nicht wolkenähnlichen Punkte ermittelt. Auch die Modulationsfehlerrate erzielte für alle drei Kanäle einen sehr guten Wert. Sie betrug für die unterschiedlichen Frequenzen einen Wert von über 40 dB und liegt somit um 15 dB über der in der Norm hinterlegten Grenze von 25 dB.

Es traten bei allen drei Sendefrequenzen nur Oberwellen beim Zweifachen der Frequenz auf. Durch das Maskenfilter konnten die Oberwellen jedoch vollständig gefiltert werden. Die DAB-Spektrumsmaske für den Case 2 wurde durch den Einsatz des Maskenfilters ebenso eingehalten.

Der Plischsender ist somit für die Übertragung im VHF-Band-III geeignet. Der Sender sollte mit dem Maskenfilter betrieben werden, um die Einhaltung der Spektrumsmaske zu garantieren und um Rückwirkungen der Sendeantenne zu filtern. Durch die eingestellte Leistung von ca. 45 W kann auch ein großflächiger Bereich mit DAB versorgt werden. Die Leistung könnte auch unter der Inkaufnahme des Verlustes der Signalqualität weiter erhöht werden. Hier sollten jedoch die Messungen wiederholt durchgeführt werden.

Tabelle 9 Messergebnisse Plischsender

Plischsender	Kanal 5A	Kanal 9A	Kanal 12A	Kanal 12A mit Maskenfilter
Schulterabstand in dB	-49,19	-52,48	-53,90	-68,84
Crestfaktor in dB	9,92	11,03	11,23	12,05
Amplitudenänderung im Kanal in dB	0,61	0,23	0,23	1,21
Phasenänderung im Kanal in °	0,77	0,68	0,65	35,44
Amplitudengang im Kanal in dB	0,62	0,19	0,20	1,24
Gruppenlaufzeit im Kanal in ns	57,65	61,09	52,50	643,25
Amplituden- ungleichgewicht in %	-0,07	-0,01	-0,02	-0,03
Quadraturfehler in °	-0,03	-0,05	-0,05	-0,06
MER (RMS) in dB	40,50	41,6	41,9	42,2
EVM (RMS) in %	0,94	0,83	0,80	0,78
BER before Viterbi	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁸	0,0*10 ⁻⁸	5,0*10 ⁻⁷
Frequenzgenauigkeit in Hz	9,8	12,8	14,4	15,2
Gedämpfte (60 dB) Leistung in dB	-13,4	-13,5	-13,7	-16,0

5.1.4 EasyDAB

Auch beim EasyDAB wird vor den Messungen die beste Qualität des Signals in Abhängigkeit der eingestellten Leistung ermittelt. Hierzu wurde die Leistung (Amplitude) in der Weboberfläche des EasyDAB von 50 % bis 200 % variiert. Wie bei allen anderen Sendern wurde außerdem die Modulationsfehlerrate zur weiteren Betrachtung ermittelt.



Abbildung 144 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung EasyDAB

	Leistung in %	Externe Dämpfung in dB
Blau	200	17
Schwarz	150	15
Grün	100	10
Orange	50	5

Tabelle 10 Legende zu Abbildung 140

Der Schulterabstand des blauen Spektrums (200 %) ist sichtbar geringer als der Schulterabstand der anderen Spektren. Die rechteckigen Artefakte im Abstand von ± 6 MHz zur Kanalmitte sind beim grünen Spektrum (100 %) geringfügig kleiner, als beim schwarzen Spektrum (150 %).

Ī	Laistung in 9/	MED in dD	Externe	Gedämpfte	Leistung in dBm
	Leistung In %	IVIER _{rms} IN OB	Dämpfung in dB	Leistung in dBm	
	200	37,8	17	-11,3	5,7
	150	37,9	15	-11,8	3,2
	100	38,1	10	-10,2	-0,2
Ī	50	37,9	5	-11	-6

Tabelle 11 MER in Abhängigkeit der Leistung EasyDAB

Tabelle 11 zeigt die Messwerte der Modulationsfehlerrate (MER) in dB, die eingestellte externe Dämpfung des Dämpfungsgliedes, die im ETL gemessene gedämpfte Leistung nach dem Dämpfungsglied in dBm und die tatsächliche Leistung des B200 in dBm. Um eine Vergleichbarkeit der gemessenen Werte des EasyDAB zu erhalten wurde das

Dämpfungsglied so eingestellt, dass im ETL jeweils annähernd die gleiche Leistung gemessen wurde.

Die MER ist für alle eingestellten Leistungen nahezu konstant. Bei einer eingestellten Leistung von 100 % ist sie um 0,2 dB besser im Gegensatz zu den anderen Leistungen. Da das Spektrum für einen Wert von 150 % und 100 % nahezu gleich gut ist und die MER sich nicht groß unterscheidet, wird der Wert 100 % verwendet. Der Wert 100 % wird unter anderem verwendet, da die Empfehlungen des Herstellers zwischen 100-120 % liegen.

5.1.4.1 Messung des OFDM-Schulterabstand



Abbildung 145 Schulterabstand EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 146 Schulterabstand EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 147 Schulterabstand EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 148 Schulterabstand EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Das Spektrum des EasyDAB zeigt im Abstand von 6 MHz zur Sendefrequenz rechteckige Artefakte auf. Die Artefakte treten aufgrund des Modulators auf. Es ist zu vermuten, dass das Signal nach dem Mischvorgang ohne eine Filterung nach außen geschickt wird.

Der Schulterabstand des EasyDAB im Abstand von ±970 kHz beträgt für alle Frequenzen ca.-42 dB. Die Grenze wird somit eingehalten. Das Maskenfilter verbessert nochmals den Schulterabstand. Außerdem werden die auftretenden Artefakte gefiltert. In Abbildung 148 lässt sich auch erkennen, dass das Maskenfilter das Eigenrauschen des ETL unterdrückt.

5.1.4.2 Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und Bestimmung des Crestfaktors in Abhängigkeit der Sendeleistung



Abbildung 149 Crestfaktor EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 150 Crestfaktor EasyDAB Kanal 9A





Abbildung 151 Crestfaktor EasyDAB Kanal 12A

Abbildung 152 Crestfaktor EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Trace

-5.55 dBm Crest

12.37 dB

-17.92 dBm Peak

Mean

Der Crestfaktor des EasyDAB ist für alle drei Sendefrequenzen relativ identisch und liegt bei ca. 12,2 dB. Somit ist der Spitzenwert um 12,2 dB höher als der Effektivwert der Leistung. Der EasyDAB erfüllt den Grenzwert von einem Crestfaktor kleiner 13 dB. Durch das Maskenfilter (Abbildung 152) treten keine Veränderungen auf und der Crestfaktor liegt weiterhin bei ca. 12,3 dB.

5.1.4.3 Messung der Amplitude und Phase im Kanal



Abbildung 153 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 154 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 155 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 156 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Die Amplituden- und Phasenänderung über alle Trägerfrequenzen hinweg ist für die drei Sendefrequenzen konstant. Die Amplitudenänderung beträgt 1,18 dB und die Phasenänderung beträgt 0,81°. Durch den Einsatz des Maskenfilters werden die Amplitudenänderung und Phasenänderung deutlich verschlechtert. Die Amplitudenänderung beträgt nun 2,13 dB und die Phasenänderung 34,54°.

5.1.4.4 Messung der Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal



Abbildung 157 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 158 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 159 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 160 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Auch der Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit sind für alle drei Sendefrequenzen nahezu konstant. Der Amplitudengang beträgt 1,25 dB und die Gruppenlaufzeit 60 ns. Durch den Einsatz des Maskenfilters werden auch hier die Werte verschlechtert. Nach dem Maskenfilter beträgt der Amplitudengang 2,25 dB und die Gruppenlaufzeit 765,52 ns.

5.1.4.5 Messung des IQ-Ungleichgewichts



Abbildung 161 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 162 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 163 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 164 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Das IQ-Ungleichgewicht ist für alle drei Sendefrequenzen nicht auflösbar. So beträgt der Amplitudenfehler 0% und der Phasenfehler liegt bei -0,02°. Das Maskenfilter hat keine Auswirkungen auf das IQ-Ungleichgewicht.

5.1.4.6 Messung des Konstellationsdiagramm



Abbildung 165 Konstellationsdiagramm EasyDAB Kanal 5A

R&S ETL Constellation		S/N 105	146, FW 3.40
Ch: RF 202.928000 MHz	T-DMB/DAB		
ExpLvl - 10.00 dBm	*Att 15 dB		
•	•		
OLIM			
*	•		
PS			
Lvl - 14.2dBm MER 38.4dB	DEMOD	FIC Syr	mb 5.0000e+001

Abbildung 166 Konstellationsdiagramm EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 167 Konstellationsdiagramm EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 168 Konstellationsdiagramm EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Das Konstellationsdiagramm zeigt für alle drei Sendefrequenzen keine wolkenähnlichen Punkte. Die Punkte sind sehr klein und scharf und zeigen kaum Abweichungen zum Idealen Punkt. Der Einsatz des Maskenfilters hat keine Auswirkungen auf die Konstellationspunkte, denn sie sind nach wie vor nicht verzerrt.

5.1.4.7 Messung der Modulationsfehlerrate

Die Messung der Modulationsfehlerrate wird einmal über der Frequenz für alle Träger ermittelt und einmal als Tabelle durch den ETL ermittelt. Die folgenden Kanäle wurden gemessen: Kanal 5A, Kanal 9A, Kanal 12A und Kanal 12A mit Maskenfilter.

5.1.4.7.1 Gesamtübersicht der Modulationsfel	nlerrate
--	----------

R&S ETL Modulation Errors S/N 105146, FW 3.40 Ch: RF 174.928000 MHz T-DMB/DAB * Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm						
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit	
	Level	-60.0	-13.3	10.0	dBm	
	Carrier to Noise	15.0	70.3		dB	
	MER (rms)	24.0	39.1		dB	
OLim	MER (peak)	10.0	26.6		dB	
	EVM (rms)		1.11	4.40	%	
	EVM (peak)		4.67	22.00	%	
	BER bef. Viterbi		6.6e-5(10/10)	1.0e-2		
PS	BER bef. Viterbi FIC		9.0e-6(100/1K00)	1.0e-2		
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-7(51/100)	1.0e-2		
Lvl - 13.3dBm BER 6.6e-5 MER 39.1dB DEMOD FIC						
Abbildung 169 Modulationsfehlerrate EasyDAB Kanal 5A						

R&S ETL Modulation Errors S/I			S/N 1	05:	146, FI	W 3.40	
Ch: RF 202.928000 MHz T-DMB/DAB							
* Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm							
	Pass	Limit <	Results	<	Limit	Unit	
	Level	-60.0	-14.	2	10.0	dBm	
	Carrier to Noise	15.0	68.	9		dB	
	MER (rms)	24.0	38.	6		dB	
OLim	MER (peak)	10.0	25.	5		dB	
	EVM (rms)		1.1	8	4.40	%	
	EVM (peak)		5.2	9	22.00	%	
	BER bef. Viterbi		0.0e-6(3/10)	1.0e-2		
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-6(155/1K00)	1.0e-2		
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-6(2/10		1.0e-2		
Lvl - 1	4.2dBm BER 0.0e-6	Lvl -14.2dBm BER 0.0e-6 MER 38.6dB DEMOD FIC					

Abbildung 170 Modulationsfehlerrate EasyDAB Kanal 9A

R&S ETL Modulation Errors			S/N 10	5146, F	W 3.40	
Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB						
,						
*	Att 15 dB					
	ExpLvl - 10.00 dBm					
	Dass	Linald	Desults	< Limit	Unit	
	Pass		Kesuits 15.0		dBas	
	Level	-60.0	-15.0	10.0	abm	
	Carrier to Noise	15.0	67.3		dB	
	MER (rms)	24.0	38.1		dB	
OLim	MER (peak)	10.0	25.3		dB	
	EVM (rms)		1.24	4.40	%	
	EVM (peak)		5.40	22.00	%	
	BER bef. Viterbi		1.2e-3(10/10)	1.0e-2		
PS	BER bef. Viterbi FIC		5.2e-5(100/100)	1.0e-2		
	BER bef. Viterbi MSC		2.5e-5(10/10)	1.0e-2		
Lvl - 1	Lvl - 15.0dBm BER 1.2e-3 MER 38.1dB DEMOD FIC					

Abbildung 171 Modulationsfehlerrate EasyDAB Kanal 12A

R&5	ETL Modulation E	rrors	S/N 10	5146, F	W 3.40		
Ch: RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB							
* Att 15 dB ExpLvI - 27.60 dBm							
	Pass	Limit <	c Results	< Limit	Unit		
	Level	-60.0	-17.5	10.0	dBm		
	Carrier to Noise	15.0	65.9		dB		
	MER (rms)	24.0	37.9		dB		
OLim	MER (peak)	10.0	25.3		dB		
	EVM (rms)		1.27	4.40	%		
	EVM (peak)		5.40	22.00	%		
Tdf	BER bef. Viterbi		1.3e-4(10/10)	1.0e-2			
PS	BER bef. Viterbi FIC		6.6e-4(100/100)	1.0e-2			
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-7(34/100)	1.0e-2			
Lvl - 1	LvI - 17.5dBm BER 1.3e-4 MER 37.9dB DEMOD FIC						

Abbildung 172 Modulationsfehlerrate EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Der Effektivwert der Modulationsfehlerrate liegt für alle drei Sendefrequenzen bei ca. 39 dB. Dieser Wert entspricht einem sehr guten Wert, der über der Norm liegt. Der Effektivwert der Error Vector Magnitude (EVM) liegt bei 1,1 % und überschreitet somit die im ETL hinterlegte Grenze von 4,4 % nicht. Auch die Bitfehler (BER) liegen unter der Grenze des ETL. Mit zunehmender Messdauer würden diese Werte noch weiter sinken. Das Maskenfilter wirkt nicht auf die Werte der Modulation ein.



5.1.4.7.2 Modulationsfehlerrate über der Frequenz

Abbildung 173 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 174 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 175 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 176 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Die Messung der Modulationsfehlerrate zeigt, dass die MER in der Mitte des Bandes für alle drei Sendefrequenzen stark abnimmt. Sie liegt hier ca. 3 dB unter dem Effektivwert. Dies kann jedoch vernachlässigt werden, da der Träger in der Mitte keine Information überträgt. Am Rande des Bandes verbessert sich die MER um ca. 0,5 dB. Das Maskenfilter hat keine Auswirkungen auf die Modulationsfehlerrate.
5.1.4.8 Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und zur Einhaltung der DAB Spektrumsmaske

In diesem Kapitel werden die erzeugten Oberwellen des ETL auf den verschiedenen Sendefrequenzen betrachtet. Es wird außerdem noch die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske beurteilt. Zur Vergleichbarkeit wird die Einhaltung der Maske mit dem ETL und mit dem ESRP durchgeführt.

5.1.4.8.1 Messung der Oberwellen



Abbildung 177 Oberwellen EasyDAB Kanal 5A



Abbildung 178 Oberwellen EasyDAB Kanal 9A



Abbildung 179 Oberwellen EasyDAB Kanal 12A



Abbildung 180 Oberwellen EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Der EasyDAB erzeugt für alle drei Sendefrequenzen eine Oberwelle bei ca. 1,229 GHz. Außerdem befinden sich bei Kanal 5A eine Oberwelle bei ca. 439 MHz, bei Kanal 9A eine

Oberwelle bei ca. 409 MHz und bei Kanal 12A eine Oberwelle bei ca. 391 MHz. Diese Oberwellen entstehen sehr wahrscheinlich durch die Art des Modulators, wie schon unter Kapitel 5.1.4.1 festgestellt wurde. Durch den Einsatz des Maskenfilters lässt sich erkennen, dass diese Oberwellen komplett gefiltert werden.

iver Spectrum

Ref Level

20 dBm:

40 dBm

× Mode

PABS



5.1.4.8.2 Messung der DAB-Spektrumsmaske



Abbildung 182 DAB-Spektrumsmaske EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A ESRP

Input

Abbildung 181 DAB-Spektrumsmaske EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A ETL

In Abbildung 181 lässt sich erkennen, dass die DAB-Spektrumsmaske im unkritischen Fall (Case 2) durch den Einsatz des Maskenfilters eingehalten wird. Auch die Vergleichsmessung mit dem ESRP (Abbildung 182) bestätigt, dass die Spektrumsmaske durch den Einsatz des Maskenfilters den Grenzwerten entspricht.

5.1.4.9 Gesamtübersicht der Parameter

RF 174.92800 Att 15 dB ExpLvI -10.00 dBm	DO MHZ T-	DMB/DAB		
Ensemble: LMK-Rad	dio	Date & Time(UTC):	16.07.2018, 0	9:53:47
Pass	Limit	C Results	< Limit	Unit
Level	-60.0	-13.3 Normal	10.0	abm
Transmission Mode		Mode L 1536 carriers		
Carrier Fred Offset	-30000.0	-0 1	30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-20.0	0.0	20.0	nnm
MER/EVM (rms)	24.0	39.1		dB
MER/EVM (peak)	10.0	26.3		dB
BER before Viterbi		6.9e-5(10/10)	1.0e-2	
FIB Errors		0	1	/s
Subchannel paramo	eters (SubC	hId, Type)		
BER before RS		Not applicable	2.0e-4	
Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8	
Packet Errors		Not applicable	1	/s
MPEG Ts Bitrate		Not applicable		kbit/s
3.3dBm BER 6.9e-	5 MER 39	.1dB DEMOD	FIC	
ilduna 183 Geo	samtübe	rsicht FasyDAB Ko	inal 5A	
	RF 174.92800 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit Refore N BER before Viterbi FIB Errors Subchannel param BER before RS Packet Errors MPEG Ts Bitrate 3.3dBm BER 6.9e-	RF 174.928000 MHz T- Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Radio Pass Limit • Level -60.0 Sideband - Transmission Mode Carrier Freq Offset -30000.0 Bit Rate Offset -20.0 MER/EVM (ms) 24.0 MER/EVM (ms) 24.0 MER/EVM (ms) 24.0 MER/EVM (ms) 24.0 MER/EVM (ms) 24.0 BER before Viterbi FIB Errors - Subchannel parameters (SubC BER before RS - Packet Errors - Packet Errors - MPEG Ts Bitrate - 3.3dBm BER 6.9e-5 MER 39 ildung 183 Gesamtibe	Pass Limit Results Level -60.0 -13.3 Sideband Mode I, 1536 carriers Carrier Freq Offset -3000.0 -0.1 Bit Rate Offset -20.0 -0.0 BER before Viterbi 6.9e-5(10/10) FIB Errors Subchannel parameters (SubChId, Type) BER before RS Not applicable Packet Errors Not applicable Not applicable MEQES Not applicable Not applicable Not applicable Jadem BER 6.9e-5 MER 39.1dB DEMOD Idung 183	Pass Limit Results Limit Level -60.0 -13.3 10.0 Sideband Normal 10.0 3000.0 Bit Rate Offset -20.0 0.0 20.0 MER/EVM (mes) 10.0 26.3 BER before Viterbi 6.9e-5(10/10) 1.0e-2 10.0 FIB Errors 0 1 1 10.0e-2 Packet Errors Not applicable 2.0e-4 10.0e-8 Packet Errors Not applicable 1.0e-8 10.0e-8 Packet Errors Not applicable 1.0e-8 10.0e-8 Packet Errors Not applicable 1.0e-8 1

Ch: ·	RF 202.92800	0 MHz T-	DM	B/DAB			
•	Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm						
	Ensemble: LMK-Rac	lio		Date & Time(UTC):1	6.07.2018, 0	9:41:55
	Pass	Limit <	;	Results		< Limit	Unit
	Level	-60.0			-14.1	10.0	dBm
	Sideband			N	lormal		
	Transmission Mode		M	lode I, 1536 ca	rriers		
	Carrier Freq Offset	-30000.0			-1.7	30000.0	Hz
	Bit Rate Offset	-20.0			0.0	20.0	ppm
	MER/EVM (rms)	24.0			38.4		dB
	MER/EVM (peak)	10.0			25.9		dB
0	BER before Viterbi			0.0e-6(1/10)	1.0e-2	
ULIM	FIB Errors				0	1	/s
	Subchannel parame	eters (SubCl	hId -	, Type)			
	BER before RS			Not app	licable	2.0e-4	
PS	Packet Error Ratio			Not app	licable	1.0e-8	
	Packet Errors			Not app	licable	1	/s
	MPEG Ts Bitrate			Not app	licable		kbit/s
Lvl - 1	4.1dBm BER 0.0e-	6 MER 38.	4dB	DEMOD		FIC	

Abbildung 184 Gesamtübersicht EasyDAB Kanal 9A

+: - *	ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI -10.00 dBm	arview DO MHz T-	S/N 1 DMB/DAB	05146, FV	V 3.40
	Ensemble: LMK-Rad	dio	Date & Time(UTC):	16.07.2018, 0	8:39:2
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit
	Level	-60.0	-15.0	10.0	dBm
	Sideband		Normal		
	Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers		
	Carrier Freq Offset	-30000.0	-0.5	30000.0	Hz
	Bit Rate Offset	-20.0	0.0	20.0	ppm
	MER/EVM (rms)	24.0	38.0		dB
	MER/EVM (peak)	10.0	25.5		dB
	BER before Viterbi		7.0e-5(10/10)	1.0e-2	
um	FIB Errors		0	1	/s
	Subchannel parame	eters (SubCl	1Id, Type)		
	BER before RS		Not applicable	2.0e-4	
	Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8	
- 3	Packet Errors		Not applicable	1	/s
	MPEG Ts Bitrate		Not applicable		kbit/s
					1.1.1.4/0

Abbildung 185 Gesamtübersicht EasyDAB Kanal 12A

R& 5	ETL Digital Ove	erview	S/N 1	05146, FV	V 3.40		
Ch: -	RF 223.9360	00 MHz T-	-DMB/DAB				
*	Att 15 dB						
	ExpLvl - 27.60 dBm						
	Ensemble: LMK-Ra	dio	Date & Time(UTC):	16.07.2018, 1	0:46:03		
	Pass	Limit <	< Results	< Limit	Unit		
	Level	-60.0	-17.5	10.0	dBm		
	Sideband		Normal				
	Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers				
	Carrier Freq Offset	-30000.0	-3.7	30000.0	Hz		
	Bit Rate Offset	-20.0	0.0	20.0	ppm		
	MER/EVM (rms)	24.0	38.1		dB		
	MER/EVM (peak)	10.0	26.3		dB		
OLim	BER before Viterbi		6.8e-5(10/10)	1.0e-2			
OLIIII	FIB Errors		0	1	/s		
	Subchannel param	eters (SubC	hid Type)				
_	BER before RS	cters (sube	Not applicable	2.0e-4			
Tdf	Packet Error Batio		Not applicable	1.0e-8			
25	Packet Errors		Not applicable	1.00 0	/s		
	MPEG Ts Bitrate		Not applicable		kbit/s		
Lvl - 1	7.5dBm BER 6.8e	-5 MER 38	.1dB DEMOD	FIC	1-		

Abbildung 186 Gesamtübersicht EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A

Der Leistungspegel sinkt geringfügig mit zunehmender Sendefrequenz. In Abbildung 183 beträgt der Pegel der Leistung für den Kanal 5A ca. -13,3 dBm. Im Gegensatz zu Abbildung 185 beträgt der Leistungspegel bei Verwendung des Kanals 12A ca. -15 dBm. Durch die Verwendung des Maskenfilters wird die Leistung nochmals um die Eigendämpfung des Maskenfilters von ca. 2 dB gedämpft. Es gilt zu beachten, dass es sich um die gedämpfte Leistung handelt. Für die ungedämpfte Leistung muss der Dämpfungswert des Dämpfungsgliedes von 15 dB noch hinzuaddiert werden. Die Frequenzgenauigkeit (Carrier Freq. Offset) beträgt für den EasyDAB für alle Sendefrequenzen ungefähr 1 Hz, was einer hohen Genauigkeit entspricht.

5.1.4.10 Fazit des EasyDAB

Der EasyDAB hat die Messungen zur Einhaltung der Übertragung im VHF-Band-III erfüllt. Jedoch wurde festgestellt, dass das Signal zwischenzeitlich verloren geht. So wurde in zeitlich kurzen Abständen das Konstellationsdiagramm komplett unscharf und auch die MER sank von einem sehr guten Wert von ca. 37 dB auf 4 dB ab. Weshalb dieser Fehler auftrat, kann nicht genau bestimmt werden, eventuell hat der EasyDAB einen Hardwarefehler oder es gab eventuelle Fehler bei der TCP-Übertragung, sodass zwischenzeitlich der TCP-Stream abgerissen ist. Die obigen Messungen wurden zu Zeitpunkten aufgenommen, in der der EasyDAB fehlerfrei arbeitete.

Der Schulterabstand erzielte einen Wert von ca. -42 dB und liegt somit um 12 dB über der Norm. Das Spektrum wies rechteckige Artefakte im Umkreis von \pm 6 MHz auf. Die Artefakte konnten durch den Einsatz des Maskenfilters entfernt werden. Außerdem stieg der Schulterabstand durch das Maskenfilter auf den Wert von ca -56 dB.

Die Messungen der Amplitudenänderung, Phasenänderung, Amplitudengang und Gruppenlaufzeit waren für die drei Sendefrequenzen konstant und erzielten gute Werte.

Die Modulationsfehlerrate erzielte für alle drei Sendefrequenzen einen Wert von ca. 38 dB und liegt deutlich über der Norm. Der Wert der MER ist somit sehr gut.

Der EasyDAB erzeugte Oberwellen bei ca. 1,2 GHz und bei ca. 390-440 MHz in Abhängigkeit der eingestellten Sendefrequenz. Diese Oberwellen sind sehr wahrscheinlich auch der Art des Modulators geschuldet. Durch den Einsatz des Maskenfilters konnten diese Oberwellen herausgefiltert werden. Auch wurde durch das Maskenfilter die Spektrumsmaske nach Case 2 eingehalten.

Die gesendete Leistung ist sehr gering, weshalb ein Verstärker zum Einsatz kommen sollte, möchte man eine großflächige DAB-Versorgung erzeugen. Hier sollten die Messungen erneut durchgeführt werden. Ohne die zeitlichen Verschlechterungen ist der EasyDAB dafür geeignet, eine normgerechte DAB-Versorgung zu erzeugen.

Tabelle 12 Messergebnisse EasyDAB

EasyDAB	Kanal 5A	Kanal 9A	Kanal 12A	Kanal 12A mit Maskenfilter
Schulterabstand in dB	-44,10	-43,09	-42,24	-59,80
Crestfaktor in dB	12,37	12,21	12,22	12,37
Amplitudenänderung im Kanal in dB	1,23	1,18	1,12	2,13
Phasenänderung im Kanal in °	1,30	0,81	1,23	34,54
Amplitudengang im Kanal in dB	1,18	1,25	1,08	2,25
Gruppenlaufzeit im Kanal in ns	72,92	58,28	65,65	763,52
Amplituden- ungleichgewicht in %	-0,01	0,00	0,00	-0,03
Quadraturfehler in °	-0,02	-0,03	-0,02	0,01
MER (RMS) in dB	39,1	38,6	38,1	37,9
EVM (RMS) in %	1,11	1,18	1,24	1,27
BER before Viterbi	6,6*10 ⁻⁵	0,0*10 ⁻⁶	1,2*10 ⁻³	1,3*10 ⁻⁴
Frequenzgenauigkeit in Hz	-0,1	-1,7	-0,5	-3,7
Gedämpfte (15 dB) Leistung in dB	-13,3	-14,1	-15,0	-17,5

5.2 VERGLEICH DER UNTERSCHIEDLICHEN DAB SENDER

In diesem Kapitel wird der Vergleich der einzelnen DAB-Sender vorgenommen. Es werden die jeweiligen Messungen auf dem Kanal 12A ohne den Einsatz des Maskenfilters für jeden Sender herangezogen. Es wird außerdem der Einfluss der digitalen Vorverzerrung des B200 betrachtet und Unterschiede festgestellt.

5.2.1.1 Messung des OFDM-Schulterabstand







Abbildung 188 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 189 Schulterabstand Plisch



Abbildung 190 Schulterabstand EasyDAB

Der Vergleich der Spektren und des Schulterabstandes zeigt, dass alle Sender die Norm einhalten. Der Schulterabstand des B200 ohne digitale Vorverzerrung (Abbildung 187) beträgt ca. -42 dB. Durch die digitale Vorverzerrung (Abbildung 188) wird der Abstand nochmals auf -55 dB verbessert. Der Schulterabstand für den Plischsender beträgt ca. -53 dB und für den EasyDAB ca. -42 dB. Beim EasyDAB zeigt sich außerdem, dass im Abstand von ±6 MHz rechteckige Artefakte auftreten, die durch die Modulation bedingt sind. Diese Artefakte zeigten die anderen Sender nicht. Der beste Schulterabstand lässt sich mit dem B200 und der digitalen Vorverzerrung erzielen.

5.2.1.2 Messung der inversen Amplitudenverteilungsfunktion und Bestimmung des Crestfaktors in Abhängigkeit der Sendeleistung



Abbildung 191 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 192 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 193 Crestfaktor Plisch



Abbildung 194 Crestfaktor EasyDAB

Die Messungen des Crestfaktors zeigen, dass der Crestfaktor für den Plischsender (Abbildung 193) am geringsten ist. Hier liegt das Verhältnis von Effektivwert zu Spitzenwert der Leistung bei ca. 11,23 dB. Der Unterschied von ca. 0,2 dB zwischen B200 ohne

Vorverzerrung (Abbildung 191) und B200 mit Vorverzerrung (Abbildung 192) liegt begründet in Messunsicherheiten. Der EasyDAB (Abbildung 194) weist einen Wert von 12,22 dB auf. Alle Sender halten die Grenze von 13 dB ein, mit Ausnahme der B200 ohne Vorverzerrung, da dieser geringfügig über der Grenze liegt, was jedoch vernachlässigt werden kann.



5.2.1.3 Messung der Amplitude und Phase im Kanal

Abbildung 195 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 196 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 197 Amplitude und Phase im Kanal Plisch



Abbildung 198 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB

Die Amplituden- und Phasenänderung im Kanal über der Frequenz der COFDM-Träger ist für alle Sender gering. Die geringsten Änderungen verursacht der Plischsender (Abbildung 197). Hier beträgt die Amplitudenänderung 0,23 dB und die Phasenänderung 0,65°. Die stärksten Änderungen verursacht der EasyDAB (Abbildung 198) mit einer Amplitudenänderung von 1,12 dB und einer Phasenänderung von 1,23°. Durch den Einsatz der digitalen Vorverzerrung bei der Verwendung des B200 (Abbildung 196) verschlechtert sich geringfügig die Amplitudenänderung um 0,47 dB im Vergleich zum B200 ohne die digitale Vorverzerrung (Abbildung 195).



5.2.1.4 Messung der Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal

Abbildung 199 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 200 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 201 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plisch



Abbildung 202 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB

Auch der Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit sind für alle drei Sender verschwindend gering. Der beste Wert für den Amplitudengang weist der Plischsender (Abbildung 201) auf. Der Amplitudengang beträgt hier nur 0,20 dB auch die Gruppenlaufzeit mit 52,50 ns ist gering. Der schlechteste Amplitudengang wird durch den EasyDAB (Abbildung 202)

verursacht bei einem Wert von 1,08 dB. Die beste Gruppenlaufzeit verursacht der B200 ohne die digitale Vorverzerrung (Abbildung 199) mit einem Wert von 40,96 ns. Durch die digitale Vorverzerrung des B200 (Abbildung 200) wird der Amplitudengang im Gegensatz zum B200 ohne Vorverzerrung um ca. 0,4 dB schlechter. Die Gruppenlaufzeit verändert sich nur sehr geringfügig.





Abbildung 203 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 204 IQ-Ungleichgewicht B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 205 IQ-Ungleichgewicht Plisch



Abbildung 206 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB

Das IQ-Ungleichgewicht ist für alle gemessenen Sender gering und lässt sich kaum auflösen. Alle Sender verursachen infinitesimale kleine Amplituden- wie auch Phasenfehler.

5.2.1.6 Messung des Konstellationsdiagramm



Abbildung 207 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 208 Konstellationsdiagramm B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 209 Konstellationsdiagramm Plisch



Abbildung 210 Konstellationsdiagramm EasyDAB

Das beste Konstellationsdiagramm wird mit dem Plischsender erzielt (Abbildung 209). Hier sind die Konstellationspunkte sehr klein und scharf, sie liegen alle dicht beieinander. Ein etwas schlechteres aber immer noch gutes Konstellationsdiagramm erzeugt der EasyDAB (Abbildung 210), hier sind die Punkte etwas größer als beim Plischsender. Der B200 (Abbildung 207) zeigt ein Konstellationsdiagramm, dessen Punkte geringfügig länglich verformt sind. Die digitale Vorverzerrung (Abbildung 208) hat keine Auswirkungen auf das Konstellationsdiagramm und ist identisch mit dem Diagramm ohne die digitale Vorverzerrung.

5.2.1.7 Messung der Modulationsfehlerrate

Die Messung der Modulationsfehlerrate wird einmal über der Frequenz für alle Träger ermittelt und einmal als Tabelle durch den ETL ermittelt. Die Messungen wurden auf dem Kanal 12A mit jeweils den verschiedenen Sendern durchgeführt.

5.2.1.7.1 (Gesamtübersicht	der Modu	lationsfehlerrate
-------------	-----------------	----------	-------------------

RE 223,936000	MHz T-DI	MB/DAB	3140, F	W 3.40
RF 225.950000				
Att 0 dB				
ExpEvi - 51.10 dBill				
Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit
Level	-60.0	-28.7	10.0	dBm
Carrier to Noise	15.0	64.1		dB
MER (rms)	24.0	37.7		dB
MER (peak)	10.0	26.3		dB
EVM (rms)		1.30	4.40	%
EVM (peak)		4.86	22.00	%
BER bef. Viterbi		0.0e-7(11/100)	1.0e-2	
BER bef. Viterbi FIC		0.0e-6(239/1K00)	1.0e-2	
BER hef Viterhi MSC		0.0e-6(9/10)	1.0e-2	
DER DEI. VICEIDI MSC				
ildung 211 verzerrung	Modulat	B DEMOD tionsfehlerrate S/N 10	FIC B200 5146, F Y	ohr • 3.40
ETL Modulation E RF 223.936000 Att 10 dB ExpLvI - 39.20 dBm	Mer 37.77 Modulat Irrors MHz T-DI	IB DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB	FIC B200 5146, Ft	ohr. w 3.40
RETL Modulation E ETL Modulation E ETL Modulation E The second	Mer 37.70 Modulat rrors MHz T-DI	IB DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB	FIC B200 5146, FY < Limit	ohr W 3.40
Revelopment Revelopme	Mer 37.70 Modulat rrors MHz T-DI Limit < -60.0	IB DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1	FIC B200 5146, FY < Limit 10.0	Ohr W 3.40
Revel Vietor MSC	Limit <	IB DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1 61.6	FIC B200 5146, FY < Limit 10.0	ohr N 3.44 dBm dB
Reference in the initial of the	Limit Limit -60.0 15.0 24.0 24.0	IB DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1 61.6 38.2	FIC B200 5146, FV < Limit 10.0	Ohr N 3.41 dBm dB dB
BER 0.00-7 BER 0.00-7 BER 0.00-7 Idung 211 verzerrung ETL Modulation E Transport Transpor	Mer 37.77 Modulat MHz T-DI MHz T-DI 15.0 24.0 10.0	IB DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1 61.6 38.2 25.9	FIC B200 5146, FV < Limit 10.0 	Ohr N 3.41 dBm dB dB dB
BER 0.0e-7 BER 0.0e-7 BER 0.0e-7 Idung 211 verzerrung ETL Modulation E The second seco	Limit -60.0 15.0 24.0 10.0	B DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB -21.1 61.6 38.2 25.9 1.23	FIC B200 5146, FV 5146, FV 10.0 4.40	Ohr N 3.44 dBm dB dB dB w
B2.7 dBm BER 0.0e-7 8.7 dBm BER 0.0e-7 ildung 211 verzerrung ETL Modulation E RF 223.936000 Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBm Level Carrier to Noise MER (rms) MER (peak) EVM (peak)	Limit Limit -60.0 15.0 24.0 10.0	B DEMOD tionsfehlerrate sinsfehlerrate S/N 10 MB/DAB MB/DAB -21.1 611.6 -38.2 25.9 1.23 5.07 5.07	< Limit 22.00 5146, FV 5146, FV 10.0 4.40 22.00	Ohr N 3.44 dBm dB dB dB dB dB
B2.7 dBm BER 0.0e-7 <i>ildung</i> 211 <i>verzerrung</i> ETL Modulation E <i>verzerrung</i> ETL Modulation E <i>verzerrung</i> ETL Modulation E <i>verzerrung</i> Ett 10 dB ExpLvI - 39.20 dBm Level Carrier to Noise MER (rms) EVM (rms) EVM (peak) BER bef. Viterbi	Limit Limit -60.0 15.0 24.0 10.0	B DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1 616. 38.2 25.9 1.23 5.07 0.0e-7(36/100)	FIC B200 5146, FY 5146, FY 10.0 4.40 22.00 1.0e-2	Unit M 3.41 dBm dB dB dB dB
BER ORL Netro MSC 11 Netro MSC 12 Netro MSC 12 Netro MSC 14 Netro MSC 15 Netro MSC 16 Netro MSC 17 Netro MSC 18 Netro MSC 19 Netro MSC 10 NetromSC 10 NetromS <td>Limit Limit -60.0 15.0 24.0 10.0 </td> <td>B DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1 61.6 38.2 2.5.9 1.2.3 5.07 0.0e-7(36/100) 0.0e-6(279/1K00)</td> <td>FIC B200 5146, FV 5146, FV 10.0 4.40 22.00 1.0e-2 1.0e-2</td> <td>Unit M 3.41 dBm dB dB dB dB dB dB</td>	Limit Limit -60.0 15.0 24.0 10.0	B DEMOD tionsfehlerrate S/N 10 MB/DAB Results -21.1 61.6 38.2 2.5.9 1.2.3 5.07 0.0e-7(36/100) 0.0e-6(279/1K00)	FIC B200 5146, FV 5146, FV 10.0 4.40 22.00 1.0e-2 1.0e-2	Unit M 3.41 dBm dB dB dB dB dB dB

Abbildung 212 Modulationsfehlerrate B200 mit Vorverzerrung

R&5	ETL Modulation E	rrors	S/N 10	5259, F	W 3.50
Ch: -	RF 223.936000	MHz T-DI	MB/DAB		
•	Att 15 dB ExpLvI - 36.40 dBm				
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit
	Level	-60.0	-13.7	10.0	dBm
	Carrier to Noise	15.0	68.0		dB
	MER (rms)	24.0	41.9		dB
OLim	MER (peak)	10.0	28.8		dB
	EVM (rms)		0.80	4.40	%
	EVM (peak)		3.64	22.00	%
	BER bef. Viterbi		0.0e-8(138/1K00)	1.0e-2	
PS	BER bef. Viterbi FIC		0.0e-7(3K88/10K0)	1.0e-2	
	BER bef. Viterbi MSC		0.0e-7(99/100)	1.0e-2	
Lvi - 1	3.7dBm BER 0.0e-8	MER 41.9d	B DEMOD	FIC	

Abbildung 213 Modulationsfehlerrate Plisch

R&5	ETL Modulation E	rrors	S/N 10	5146, F	W 3.40				
Ch: -	RF 223.936000	MHz T-D	MB/DAB						
*	Att 15 dB								
	ExpLvI - 10.00 dBm								
	Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit				
	Level	-60.0	-15.0	10.0	dBm				
	Carrier to Noise	15.0	67.3		dB				
	MER (rms)	24.0	38.1		dB				
OLim	MER (peak)	10.0	25.3		dB				
	EVM (rms)		1.24	4.40	%				
	EVM (peak)		5.40	22.00	%				
	BER bef. Viterbi		1.2e-3(10/10)	1.0e-2					
PS	BER bef. Viterbi FIC		5.2e-5(100/100)	1.0e-2					
	BER bef. Viterbi MSC		2.5e-5(10/10)	1.0e-2					
Lvl - 1	5.0dBm BER 1.2e-3	MER 38.10	dB DEMOD	FIC					

Abbildung 214 Modulationsfehlerrate EasyDAB

Der Plischsender hat mit 41,9 dB den größten Effektivwert der Modulationsfehlerrate. Außerdem ist der Effektivwert der Error-Vector-Magnitude (EVM) mit 0,8 % auch der niedrigste aller gemessenen Sender. Für den B200 mit und ohne digitaler Vorverzerrung wie auch für den EasyDAB sind die Werte für den Effektivwert der MER und für den Effektivwert der EVM alle dicht beieinander. So beträgt der Effektivwert der MER für alle drei Sender ca. 38 dB und der Effektivwert der EVM liegt bei ca. 1,2 %. Alle Sender konnten die im ETL hinterlegte Grenze für die Bitfehlerrate (BER) einhalten.

5.2.1.7.2 Modulationsfehlerrate über der Frequenz



Abbildung 215 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 216 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 217 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plisch



Abbildung 218 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB

Die Modulationsfehlerrate über der Frequenz zeigt, dass der EasyDAB einen deutlich schlechteren Wert in der Kanalmitte erzeugt, als die anderen Sender. Zwar erzeugt auch der B200 mit und ohne digitaler Vorverzerrung einen Einbruch der MER in der Kanalmitte jedoch nicht so ausgeprägt wie beim EasyDAB. Der Plischsender weist dieses Verhalten an der Kanalmitte nicht auf. Diese Einbrüche in der Kanalmitte lassen sich eventuell auf

schlechte Gleichspannungsunterdrückung zurückführen. Sie sind aber vernachlässigbar, da der Träger in der Mitte keine Information enthält.

5.2.1.8 Messung der Nebenaussendungen/Oberwellen und zur Einhaltung der DAB Spektrumsmaske

In diesem Kapitel werden die erzeugten Oberwellen der verschiedenen DAB-Sender beurteilt. Die Messungen fanden auf dem Kanal 12A statt. Es wird außerdem die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske der verschiedenen Sender betrachtet.



5.2.1.8.1 Messung der Oberwellen

Abbildung 219 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung



Abbildung 220 Oberwellen B200 mit Vorverzerrung







Abbildung 222 Oberwellen EasyDAB

Der B200 erzeugt sehr viele und starke Oberwellen. Sie treten hauptsächlich zu jedem ungeraden Vielfachen der Sendefrequenz auf. Die digitale Vorverzerrung hat keinen Einfluss auf die Oberwellen. Beim Plischsender tritt nur eine Oberwelle beim Zweifachen der Sendefrequenz auf. Der EasyDAB erzeugt ebenso Oberwellen, welche aber nicht bei Vielfachen der Sendefrequenz auftreten, sondern bei festen Frequenzen. Die erzeugten Oberwellen können alle durch ein Maskenfilter gedämpft werden.



5.2.1.8.2 Messung der DAB-Spektrumsmaske





Abbildung 224 DAB-Spektrumsmaske B200 mit Vorverzerrung



Abbildung 225 DAB-Spektrumsmaske Plisch



Abbildung 226 DAB-Spektrumsmaske EasyDAB

Die DAB-Spektrumsmaske wird für den Case 2 von allen Sendern eingehalten. Die Messungen wurden auf dem Kanal 12A mit Verwendung des Maskenfilters ausgeführt.

5.2.1.9 Gesamtübersicht der Parameter

R&S ETL Digital Ov	erview	5/1410								
h: RF 223.9360	00 MHz T-	DMB/DAB			Ch: -	RF 223.9360	JO MHZ I-L	DMB/DAB		
* Att 0 dB Explude 51 10 dBm					*	Att 15 dB				
EXPENT-51.10 UBI						EXPENT-30.40 dBm				
Ensemble: LMK-Ra	adio	Date & Time(UTC):03	8.07.2018, 1	2:38:17		Ensemble: DAB DG	Belgien	Date & Time(UTC):2	6.09.2018, 0	08:36:4
Pass	Limit <	Results <	Limit	Unit		Pass	Limit <	Results <	Limit	Unit
Level	-60.0	-28.7	10.0	dBm		Level	-60.0	-13.7	10.0	dBm
Sideband		Normal				Sideband		Normal		
Transmission Mode		Mode 1, 1536 carriers				Transmission Mode		Mode 1, 1536 carriers		
Carrier Freq Offset	-30000.0	487.5	30000.0	HZ		Carrier Freq Offset	-30000.0	14.4	30000.0	HZ
BIT Rate Offset	-20.0	2.2	20.0	ppm		BIT Rate Offset	-20.0	0.1	20.0	ppm
MER/EVM (rms)	24.0	36.1				MER/EVM (rms)	24.0	42.1		
MER/EVM (peak)	10.0	25.9	1.0- 2	ab		MER/EVM (peak)	10.0	28.8	1.0- 2	ab
		0.0e-7(22/100)	1.0e-2	1-	OLim	SER Defore Viterbi		0.0e-8(129/1K00)	1.0e-2	1-
FIB Errors		0	1	/s		FIBErrors		U	1	/s
Subchannel paran	neters (SubCh	Id, Type)				Subchannel parame	eters (SubCh	Id, Type)		
BER before RS		Not applicable	2.0e-4			BER before RS		Not applicable	2.0e-4	
Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8		PS	Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8	
Packet Errors		Not applicable	1	/s		Packet Errors		Not applicable	1	/s
MPEG Ts Bitrate		Not applicable		kbit/s		MPEG Ts Bitrate		Not applicable		kbit/s
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung RS ETL Digital Ov	7 MER 38. 7 Gesa. erview	1dB <u>DEMOD</u> mtübersicht B2 S/N 10	200 o 5146, FV	hne v 3.40	LVI - 1 Abb	ildung 229 Ge.	samtüber	sicht Plisch	05146, FV	V 3.4
vi - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 'orverzerrung RES ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvi - 39.20 dBm	-7 MER 38. 7 Gesa. erview 00 MHz T-	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB	200 o 5146, FV	hne v 3.40	Lvi - 1 Abb Ch: - *	ildung 229 Ge. ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm	samtüber srview D0 MHz T-I	sicht Plisch S/N 10 DMB/DAB	95146, FV	V 3.4
Al - 28.7dBm BER 0.00 bbildung 227 forverzerrung Res ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI - 39.20 dBm	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T-	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB	5146, FV	hne V 3.40	<u>Lvi - 1</u> Abb Ch: - *	ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm	samtüber samtüber oo MHz T-[S/N 10 DMB/DAB	05146, FV	V 3.4
Al -28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung RES ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI -39.20 dBm Ensemble: DAB Di Pass	Gesa	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results	5146, FV	hne V 3.40	<u>Lvi - 1</u> Abb Ch: - *	ildung 229 Ge. ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass	samtüber samtüber oo MHz T-I	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	6.07.2018, (V 3.4
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung CAS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBm Ensemble: DAB Da Pass Level	-7 MER 38. 7 Gesa. erview 000 MHz T- 1 3 Belgien Limit <	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results	5146, FV	hne V 3.40	Lvi - 1 Abb Ross Ch: - *	ildung 229 Ge. ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass	samtüber srview D0 MHz T-I	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	6.07.2018, (Limit	V 3.4
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 225 orverzerrung (RS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBm Ensemble: DAB Di Pass Level Sideband	-7 MER 38. 7 Gesa. erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -60.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < -21.1 Normal	200 0 5146, FV 0.07.2018, C Limit 10.0	hne V 3.40 8:52:47 Unit dBm	<u>Lvi - 1</u> Abb Ch: - *	ETL Digital Ove The set of the set	samtüber samtüber DO MHz T-I	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	6.07.2018, (Limit 10.0	V 3.4
I -28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung (RS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI -39.20 dBm Ensemble: DAB Du Pass Level Sideband Transmission Mode	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -60.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < -21.1 Normal Mode L 1536 carries	5146, FV 00.07.2018, (0 <u>Limit</u> 10.0	hne V 3.40 8:52:47 Unit dBm	Lvi -1 Abb Ch: - *	ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Pass Level Sideband Transmission Model	samtüber samtüber oo MHz T-I <u>Limit <</u>	Date & Time(UTC):1 Results < Normal Mode L 1536 arriar	6.07.2018, (Limit 10.0	V 3.4
I -28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung IBAS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI -39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carriar Ereo Offed	-7 MER 38. 7 Gesa erview 00 MHz T- 0 3 Belgien Limit < -60.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 4844	5146, FV	hne V 3.40 8:52:47 Unit dBm	Lvi - 1 Abb Ch: - *	ildung 229 Ge. ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Fero Offerol	samtüber samtüber 200 MHz T-I dio Limit < -60.0	Date & Time(UTC):11 Results < -15.0 Normal Mode I, 1536 carries	6.07.2018, (0 : Limit 10.0	V 3.4
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung CAS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Bit Offset	-7 MER 38. 7 Gesa erview 00 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -30000.0 -30000.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2	200 0 5146, FV 0.07.2018, C Limit 10.0 30000.0	hne V 3.40 V 3.40 Unit dBm Hz enpm	Lvi - 1 Abb Ross Ch: - *	ETL Digital Ove ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset	samtüber srview 00 MHz T-I dio Limit < -30000.0	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	6.07.2018, (Limit 10.0 30000.0 20.0	V 3.4 08:39: Uni dBm Hz
I -28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung RS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvl -39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MEØ/EVM (rme)	-7 MER 38. 7 Gesa. erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -60.0 -30000.0 -20.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < 1.11 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8	5146, FV 00000 5146, FV 007.2018, C Limit 10.0 30000.0 20.0	hne V 3.40 V 3.40 Hz Ppm Hz Pgm dB	Lvi -1 Abb Ch: -	ETL Digital Ove ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit Rate Offset	samtüber srview D0 MHz T-I <u>Limit <</u> -30000.0 -20.0	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	5146, FV 6.07.2018, (: Limit 10.0 30000.0 20.0	8:39: Uni dBm Hz ppm dB
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung RS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI - 39.20 dBm Ensemble: DAB D/ Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (mas)	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -30000.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0	IdB DEMOD The second se	5146, FV 5146, FV .07.2018, C Limit 10.0 20.0 20.0	hne V 3.40 8:52:47 Unit dBm Hz ppm dB	Lvi - 1 Abb Ch: - *	ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra- Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (msa- MER/EVM (msa-)	dio Limit < -30000.0 -20.0 10.0	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	6.07.2018, (0 Limit 30000.0 20.0	V 3.4 V 3.4 Uni dBm Hz Ppm dB dB
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung BAS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI - 39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit Rate Offset MER/EVM (peak) BED hoforg (Vitrahi)	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -30000.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8 2.59 0.00-7(40(100))	5146, FV .07.2018, (C Limit 10.0 .00.0 	hne V 3.40 V 3.40 Unit dBm Hz ppm dB dB	Lvi -1 Abb Ch: - *	ildung 229 Ge. ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (peak) MER/EVM (peak)	dio Limit < -30000.0 -20.0 24.0 10.0	Date & Time(UTC):1 Results -15:0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 0.0 38:0 25:5 -5:0	6.07.2018, (Limit 10.0 30000.0 	V 3.4 V 3.4 Uni dBm Hz ppm dB dB
A - 28.74Bm BER 0.00 bbildung 227 orverzerrung COVERZERRUNG ACCOMPANY	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -30000.0 -20.0 24.0 10.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8 25.9 0.0e-7(90/100) 0	5146, FV 5146, FV 	hne V 3.40 V 3.40 Unit dB dB dB dB dB	Lut - 1 Abb Ch: - *	ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (peak) BER before Viterbi FIB Errors	dio Limit < -30000.0 -20.0 24.0 10.0	S/N 10 Sicht Plisch S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):1 Results -15:0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 0.0 38.0 25:5 7.0e-5(10/10) 0	6.07.2018, (Limit 10.0 30000.0 1.0e-2 1	V 3.4 Unii dBm dB dB dB dB dB
I -28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung CAS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI -39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (rms) MER/EVM (peak) BER before Viterbi IBE Prors	-7 MER 38. 7 Gesa erview 00 MHz T- 1 5 Belgien Limit < -30000.0 24.0 10.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8 25.9 0.0e-7(90/100) 0	5146, FV 5146, FV 0.07.2018, (Limit 10.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1	hne V 3.40 V 3.40 V 3.40 Hz Hz Hz Hz Hz Hz h Hz J B dB dB	Life of the second seco	ETL Digital Ove ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (ms) MER/EVM (meak) BER before Viterbi FIB Errors	dio Limit < -30000.0 -30000.0 -30000.0 -24.0 10.0	Date & Time(UTC):1 Results < 15:0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 0.0 38:0 25:5 7.0e-5(10/10) 0	6.07.2018, (Limit 10.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1	V 3.4 Unii dBm dB dB dB dB dB
A - 28.74Bm BER 0.00 bbildung 225 orverzerrung Corverzerrung A - 23.9360 * Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit Rate Offset MER/EVM (ms) MER/EVM (peak) BER before Viterbi FIB Errors Subchannel param	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -60.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 10.0 -eters (SubCl	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 S/N 10 DMB/DAB Mode I, 153 carrers Mode I, 153 carrers 484.2 22.1 Normal Mode I, 153 carrers 484.2 2.2.2 37.8 0.0e-7(90/100) 0 Id, Type) 1	5146, FV 5146, FV 0.07.2018, (10.0 3000.0 20.0 1.0e-2 1	hne V 3.40 8:52:47 Unit dBm Hz ppm dB dB J J s	L <u>ul -1</u> Abb Ch: - *	ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit Rate Offset MER/EVM (rms) MER/EVM (rms) MER/EVM (peak) BER before Viterbi FIB Errors Subchannel param	dio Limit < -30000.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 Eters (SubCh	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB	5146, FV 6.07.2018, (20.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1	V 3.4 V 3.4 Uni dBm dB dB dB /s
I -28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung BS ETL Digital Ov h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvI -39.20 dBm Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit Rate Offset MER/EVM (peak) BER before Viterbi FIB Errors Subchannel paran BER before RS	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 10 3 Belgien Limit < -30000.0 -20.0 24.0 10.0 10.0 -20.0 24.0 10.0 -20.0 24.0 10.0 -20	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Mode I, 1536 carriers Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8 25.9 0.0e-7(90/100) 0 0 Id, Type) Not applicable	5146, FV 5146, FV 5146, FV 10.0 20.0 1.0e-2 1 2.0e-4	hne V 3.40 B:52:47 Unit dBm dB dB dB dB dB	Lvi - 1 Abb Ch: - *	ildung 229 Ge. ETL Digital Ove RF 223.93600 Att 15 dB ExpLvI -10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra- Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (meak) BER before Viterbil FIB Errors Subchannel parame BER before RS	dio Limit < -30000.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 eters (SubCh	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):1 Results -15:0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 -0.5 -0.0 -0.5 -0.0 -0.5 -0.5 -0.5	6.07.2018, (0 Limit 10.0 20.0 1.0e-2 1 2.0e-4	V 3.4
1 - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 orverzerrung COVERZERRUNG COVERZER	-7 MER 38. 7 Gesa erview 00 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -30000.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 10.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 -30000.0 -20.0 -30000.0 -20.0 -30000.0 -20.0 -30000.0 -20.0 -30000.0 -20	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8 2.5.9 0.0e-7(90/100) 0 Id, Type) Not applicable Not applicable	200 0 5146, FV 5146, FV 0.07.2018, (C Limit 10.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1.0e-2 1.0e-4 1.0e-8	hne V 3.40 V 3.40 Unit dB dB dB dB dB dB	Lui - 1 Abb Ch: - * OLIm	ETL Digital Ove The set of the set	dio Limit < -30000.0 -20.0 24.0 10.0 eters (SubCh	Sicht Plisch Sicht Plisch DMB/DAB Date & Time(UTC):1 Results -15.0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 0.0 38.0 25.5 7.0e-5(10/10) 0 UId, Type) Not applicable Not applicable	6.07.2018, (Limit 10.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1.0e-2 1.0e-8	V 3.4 Uni dBm dB dB dB /s
A - 28.74Bm BER 0.00 bbildung 225 orverzerrung COVERZERRUNG ALL Digital OV h: RF 223.9360 * Att 10 dB ExpLvl - 39.20 dBr Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset Bit R	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 1 3 Belgien Limit < -60.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 1	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):04 Results < .21.1 Normal Mode I, 1536 carriers 484.2 2.2 37.8 25.9 0.0e-7(90/100) 0 Id, Type) Not applicable Not applicable Not applicable Not applicable	5146, FV 5146, FV .07.2018, C Limit 10.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1 2.0e-4 1.0e-8 1	hne V 3.40 8:52:47 Unit dBm Hz ppm dB dB /s /s	Lui - 1 Abb Ch: - * OLIm PS	ETL Digital Ove ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvl - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (ms) MER/EVM (peak) BER before Viterbi FIB Errors Subchannel param BER before RS Packet Errors Ratio Packet Errors	dio Limit < -30000.0 -20.0 24.0 10.0 eters (SubCh	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB Date & Time(UTC):1 Results < -15.0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 0.0 38.0 25.5 7.0e-5(10/10) 0 Id, Type) Not applicable Not applicable Not applicable	6.07.2018, (5.146, FV 6.07.2018, (10.0 30000.0 20.0 1.0e-2 1 2.0e-4 1.0e-8 1	V 3.4 Uni dB Hz ppm dB dB //s
 Al - 28.7dBm BER 0.0e bbildung 227 Corverzerrung Corverzerrung Corverzerrung Corverzerrung Corverzerrung Corverzerrung Corverzerrung Att 10 dB ExpLvI - 39.20 dBm Ensemble: DAB DO Pass Level Sideband Carrier Freq Offset Bit Rate Offset BER before Viterbi FIB Errors Subchannel paran BER before RS Packet Error Ratio Packet Errors MPEG Ts Bitrate 	-7 MER 38. 7 Gesa erview 100 MHz T- 3 Belgien Limit < -60.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 -20.0 24.0 10.0 -20.0 24.0 -30000.0 -20.0 24.0 -0 -20.0	IdB DEMOD mtübersicht B2 S/N 10 S/N 10 DMB/DAB DMB/DAB Idate & Time(UTC):04 Results -21.1 Normal Mode I, 1536 carriers -21.1 Mode I, 1536 carriers -22.2 37.8 25.9 0.0e-7(90/100) 0 Idate, Type) Not applicable Not applicable Not applicable	5146, FV 5146, FV 5146, FV 5146, FV 5146, FV 10.0 20.0 20.0 1.0e-2 1 1.0e-2 1 1.0e-3 1	hne V 3.40 8:52:47 Unit dB Hz ppm dB dB /s kbit/s	Lui - 1 Abb Ch: - * OLIm PS	ETL Digital Ove RF 223.9360(Att 15 dB ExpLvI - 10.00 dBm Ensemble: LMK-Ra Pass Level Sideband Transmission Mode Carrier Freq Offset Bit Rate Offset MER/EVM (ms) MER/EVM (peak) BER before Viterbi FIB Errors Subchannel param BER before RS Packet Errors Packet Errors MPEG Ts Bitrate	dio Limit < -30000.0 -30000.0 -20.0 24.0 10.0 eters (SubCh	S/N 10 S/N 10 DMB/DAB DMB/DAB DMB/DAB DMB/DAB DMB/DAB DATE & Time(UTC):1 Results -15.0 Normal Mode I, 1536 carriers -0.5 -0.5 -0.0 -0.5 -0.5 -0.0 -0.5 -0.5	5146, FV 6.07.2018, (2.000.0 20.0 20.0 1.0e-2 1 2.0e-4 1.0e-8 1	V 3.4 Uni dBm Hz Hz /s /s

Abbildung 228 Gesamtübersicht B200 mit Vorverzerrung

Abbildung 230 Gesamtübersicht EasyDAB

Der Pegel der Leistung des Plischsenders (Abbildung 229) ist am größten. Der gedämpfte Pegel beträgt -14,4 dBm. Um den ungedämpften Leistungspegel zu ermitteln, muss die Dämpfung von 60 dB noch hinzuaddiert werden. Die Frequenzgenauigkeit (Carrier Freq Offset) ist beim EasyDAB (Abbildung 230) mit -0,5 Hz am geringsten. Der B200, mit (Abbildung 228) und ohne digitaler Vorverzerrung (Abbildung 227), hat eine Frequenzgenauigkeit von ca. 480 Hz. Der B200 hat somit den schlechtesten Wert für die Frequenzgenauigkeit.

5.2.1.10 Fazit der zu vergleichenden Sender

Die durchgeführten Messungen zeigten, dass alle vier getesteten DAB-Sender für den Einsatz im VHF-Band III geeignet sind. Eine Übersicht der Messergebnisse sind unter Tabelle 13 zu finden.

Der Schulterabstand beträgt für den B200 ohne digitale Vorverzerrung ca. -42 dB. Durch den Einsatz der digitalen Vorverzerrung kann der Schulterabstand auf einen Wert von ca. -55 dB verbessert werden. Es ist somit deutlich zu erkennen, dass durch die digitale Vorverzerrung der Schulterabstand um ca. 13 dB verbessert wird. Der Schulterabstand für den Plischsender beträgt -53 dB und für den EasyDAB -42 dB. Alle Sender halten somit deutlich die Grenze von -30 dB deutlich ein.

Der Crestfaktor weist beim Plischsender das geringste Verhältnis zwischen Effektivwert und Spitzenwert der Leistung auf. Der Crestfaktor liegt hier bei ca. 11,23 dB. Die digitale Vorverzerrung des B200 hat auf den Crestfaktor keine Auswirkungen. Er unterscheidet sich um nur 0,2 dB, was jedoch vernachlässigt werden kann, da der Unterschied auf die Unsicherheiten des Messaufbaus zurückzuführen sind. Der EasyDAB hat einen Crestfaktor von ca. 12 dB erzielt und liegt somit auch unter der Grenze von 13 dB.

Durch Messungen der Phase, Amplitude, Gruppenlaufzeit und des IQ-Ungleichgewichts wurde nachgewiesen, dass alle Sender sehr rauscharm arbeiten. Auch sind durch den Einsatz der digitalen Vorverzerrung des B200 keine nennenswerten Unterschiede im Vergleich zum B200 ohne die digitale Vorverzerrung aufgetreten. Das Konstellationsdiagramm zeigt für alle Sender sehr scharfe Punkte. Der Einsatz der Vorverzerrung hat keine Auswirkungen auf das Konstellationsdiagramm. Der Plischsender erzielt das am besten aussehende Konstellationsdiagramm.

Die Modulationsfehlerrate liegt für den B200 ohne und mit digitaler Vorverzerrung bei ca. 37 dB. Die Vorverzerrung scheint keinen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Modulationsfehlerrate zu haben. Für den Plischsender beträgt die MER einen Wert von 41 dB und für den EasyDAB ca. 37 dB. Die Modulationsfehlerrate liegt somit für alle Sender über der in der Norm festgelegten Grenze von 25 dB.

Die Messung der Oberwellen zeigt deutlich, dass der B200 sehr starke Oberwellen bei Vielfachen der Sendefrequenz produziert. Die eingesetzte Vorverzerrung hat keine Auswirkungen auf die Oberwellen. Der Plischsender hat die am wenigsten produzierten Oberwellen. Hier tritt nur eine Oberwelle zum Doppelten der Sendefrequenz auf. Der EasyDAB zeigt Störungen die nah um die Sendefrequenz liegen. Auch treten Oberwellen auf, diese sind aber fest und treten nicht bei Vielfachen der Sendefrequenz auf. Hier zeigt sich der Unterschied zwischen einem professionellen DAB-Sender gegenüber günstigeren Open-Source Lösungen. Durch den Einsatz des Maskenfilters konnten für alle Sender die Oberwellen unterdrückt werden.

Alle Sender halten die DAB-Spektrumsmaske ein. Die Messungen wurden aufgrund der Messdynamik des Messgerätes mit dem Maskenfilter und der erstellten Transducerdatei durchgeführt. Deshalb sollte beim Betrieb der Sender immer ein Maskenfilter zum Einsatz kommen, um die Einhaltung der DAB-Spektrumsmaske zu garantieren. Außerdem sollte das Maskenfilter eingesetzt werden, um die durch die Antenne empfangenen Leistungen auf anderen Frequenzen zu unterdrücken und somit Intermodulationsprobleme zu verhindern.

Da die Leistungen des B200 und des EasyDAB sehr gering sind und somit eine großflächige DAB-Versorgung nicht erzielt werden kann, muss für beide Sender noch ein Verstärker eingesetzt werden. Hier gilt es zu beachten, dass der Verstärker das DAB-Signal verzerren kann und die Messungen deshalb vor dem Betrieb mit einem Verstärker nochmals durchgeführt werden müssen.

	B200 ohne digitaler Vorverzerrung	B200 mit digitaler Vorverzerrung	Plischsender	EasyDAB
Schulterabstand in dB	-42,57	-55,07	-53,90	-42,24
Crestfaktor in dB	13,10	12,93	11,23	12,22
Amplitudenänderung im Kanal in dB	0,60	1,07	0,23	1,12
Phasenänderung im Kanal in °	0,70	0,68	0,65	1,23
Amplitudengang im Kanal in dB	0,60	1,05	0,20	1,08
Gruppenlaufzeit im Kanal in ns	40,96	42,08	52,50	65,65
Amplituden- ungleichgewicht in %	0,06	0,14	-0,02	0,00
Quadraturfehler in °	0,01	-0,02	-0,05	-0,02
MER (RMS) in dB	37,7	38,2	41,9	38,1
EVM (RMS) in %	1,30	1,23	0,80	1,24
BER before Viterbi	0,0*10 ⁻⁷	0,0*10 ⁻⁶	0,0*10 ⁻⁸	1,2*10 ⁻³
Frequenzgenauigkeit in Hz	487,5	484,2	14,4	-0,5
Gedämpfte Leistung in dB Dämpfung in Klammern	-28,7 (30 dB)	-21,1 (20 dB)	-13,7 (60 dB)	-15,0 (15 dB)

Tabelle 13 Messergebnisse Vergleich unterschiedliche Sender

6 ANHANG



6.1 FREQUENZGANG DES MASKENFILTERS

6.2 KONFIGURATIONSDATEIEN

Die Konfigurationsdateien zum Ansteuern des DAB-Multiplexers und des DAB-ODR-Modulators

6.2.1 DAB-Multiplexer

```
general {
      dabmode 1
     nbframes 0
     syslog false
      writescca false
      tist true
      managementport 0
}
remotecontrol {
      telnetport 0
}
ensemble {
     id 0xD101
      ecc 0xE0
      international-table 1
      local-time-offset auto
      label "LMK-Radio"
      shortlabel "LMK"
}
services {
      SV_Radio_1 {
            id 0xD102
            label "Radio 1"
            shortlabel "R1"
            language 0x00
            pty 10
      }
}
subchannels {
      SC Radio 1 {
            type dabplus
            inputfile "tcp://*:9001"
            bitrate 128
            protection-profile EEP A
            protection 1
            zmq-buffer 40
            zmq-prebuffering 20
      }
}
components {
      CP Radio 1 {
            service SV Radio 1
            subchannel SC Radio 1
            type 5
            id 0x001
      }
```

```
outputs {
    ;Output für EasyDAB
    ;zmq "zmq+tcp://*:18081"
    ;Output für B200
    ;B200 "zmq+tcp://*:8100"
    ;Output für Plisch
    FarSync-Karte "raw://sync0"
    ETI_DabLin "fifo://./LMK.eti?type=raw"
    throttle "simul://"
}
```

6.2.2 B200 Ini-File

```
[remotecontrol]
telnet=1
telnetport=2121
zmqctrl=1
zmqctrlendpoint=tcp://127.0.0.1:9400
[log]
syslog=0
filelog=1
filename=/tmp/dabmod.log
[input]
transport=tcp
source=localhost:8100
[modulator]
gainmode=var
rate=8192000
# keep in mind that the DPDCE will set the digital gain through the RC!
digital gain=0.001
[firfilter]
enabled=1
[poly]
enabled=1
polycoeffile=dpd/poly.coef
# How many threads to use for the predistorter.
# If not set, detect automatically.
#num threads=2
[output]
# to prepare a file for the dpd/iq file server.py script,
# use output=file
output=uhd
[fileoutput]
filename=dpd.iq
```

```
[uhdoutput]
device=
master_clock_rate=32768000
type=b200
txgain=80
channel=12A
refclk_source=internal
pps source=none
behaviour_refclk_lock_lost=ignore
max gps holdover time=600
dpd port=50055
rxgain=15
[delaymanagement]
; Use synchronous=1 so that the USRP time is set. This works
; even in the absence of a reference clk and PPS
synchronous=1
mutenotimestamps=1
offset=4.0
```

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 EasyDAB	4
Abbildung 2 B200 [8]	4
Abbildung 3 Plisch [9]	4
Abbildung 4 R&S ETL [10]	5
Abbildung 5 R&S ESRP [11]	5
Abbildung 6 Maskenfilter	6
Abbildung 7 Messaufbau B200, Plisch, EasyDAB	8
Abbildung 8 Messaufbau B200 mit verbessertem ODR-DabMod	9
Abbildung 9 Fehlervektor im Konstellationsdiagramm [16, S. 353]	.11
Abbildung 10 Schultern eines OFDM-Signals	.12
Abbildung 11 Einzuhaltende Spektrumsmasken für kritischen und	
unkritischen Fall [12, S. 23]	.14
Abbildung 12 Messung des DAB-Signals ohne Maskenfilter	.15
Abbildung 13 Messung des DAB Signals mit Maskenfilter	.15
Abbildung 14 Unterdrückung Eigenrauschen des ETL	.16
Abbildung 15 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung B200 ohne Vorverzerrung	.17
Abbildung 16 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.18
Abbildung 17 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.18
Abbildung 18 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.18
Abbildung 19 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.18
Abbildung 20 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.19
Abbildung 21 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.19
Abbildung 22 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.19
Abbildung 23 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.19
Abbildung 24 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.20
Abbildung 25 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.20
Abbildung 26 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.20
Abbildung 27 Amplitude und Phase im Kanal B200 ohne Vorverzerrung und	•••••
Maskenfilter Kanal 12A	.20
Abbildung 28 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200	•••••
ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.21
Abbildung 29 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200	•••••
ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.21
Abbildung 30 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200	•••••
ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.21
Abbildung 31 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200	•••••
ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.21
Abbildung 32 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.22
Abbildung 33 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.22
Abbildung 34 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.22
Abbildung 35 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.22
Abbildung 36 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.23

Abbildung 37 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.23
Abbildung 38 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.23
Abbildung 39 Konstellationsdiagramm über der Frequenz B200	
ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.23
Abbildung 40 Modulationsfehler B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.24
Abbildung 41 Modulationsfehler B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.24
Abbildung 42 Modulationsfehler B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.24
Abbildung 43 Modulationsfehler B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.24
Abbildung 44 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200	
ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.25
Abbildung 45 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200	
ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.25
Abbildung 46 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200	
ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.25
Abbildung 47 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200	
ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.25
Abbildung 48 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.26
Abbildung 49 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.26
Abbildung 50 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.26
Abbildung 51 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.26
Abbildung 52 DAB-Spektrumsmaske B200 ohne Vorverzerrung und	
Maskenfilter Kanal 12A ETL	.27
Abbildung 53 DAB-Spektrumsmaske B200 ohne Vorverzerrung und	
Maskenfilter Kanal 12A ESRP	.27
Abbildung 54 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 5A	.28
Abbildung 55 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 9A	.28
Abbildung 56 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung Kanal 12A	.28
Abbildung 57 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.28
Abbildung 58 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung B200 mit digitaler Vorverzerrung	.31
Abbildung 59 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A	.32
Abbildung 60 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A	.32
Abbildung 61 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A	.33
Abbildung 62 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.33
Abbildung 63 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A	.33
Abbildung 64 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A	.33
Abbildung 65 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A	.34
Abbildung 66 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung und Maskenfilter Kanal 12A	.34
Abbildung 67 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A	.34
Abbildung 68 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A	.34
Abbildung 69 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 12A	.35
Abbildung 70 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung und	
Maskenfilter Kanal 12A	.35
Abbildung 71 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 5A	.35
Abbildung 72 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung Kanal 9A	.35
	-

Abbildung 111 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender Kanal 9A	.49
Abbildung 112 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender Kanal 12A	.49
Abbildung 113 Amplitude und Phase im Kanal Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A	.49
Abbildung 114 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender Kanal 5A	.50
Abbildung 115 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender Kanal 9A	.50
Abbildung 116 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender Kanal 12A	.50
Abbildung 117 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plischsender	
mit Maskenfilter Kanal 12A	.50
Abbildung 118 IQ-Ungleichgewicht Plischsender Kanal 5A	.51
Abbildung 119 IQ-Ungleichgewicht Plischsender Kanal 9A	.51
Abbildung 120 IQ-Ungleichgewicht Plischsender Kanal 12A	.51
Abbildung 121 IQ-Ungleichgewicht Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A	.51
Abbildung 122 Konstellationsdiagramm Plischsender Kanal 5A	.52
Abbildung 123 Konstellationsdiagramm Plischsender Kanal 9A	.52
Abbildung 124 Konstellationsdiagramm Plischsender Kanal 12A	.52
Abbildung 125 Konstellationsdiagramm Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A	.52
Abbildung 126 Modulationsfehlerrate Plischsender Kanal 5A	.53
Abbildung 127 Modulationsfehlerrate Plischsender Kanal 9A	.53
Abbildung 128 Modulationsfehlerrate Plischsender Kanal 12A	.53
Abbildung 129 Modulationsfehlerrate Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A	.53
Abbildung 130 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender Kanal 5A	.54
Abbildung 131 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender Kanal 9A	.54
Abbildung 132 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender Kanal 12A	.54
Abbildung 133 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plischsender	
mit Maskenfilter Kanal 12A	.54
Abbildung 134 Oberwellen Plischsender Kanal 5A	.55
Abbildung 135 Oberwellen Plischsender Kanal 9A	.55
Abbildung 136 Oberwellen Plischsender Kanal 12A	.55
Abbildung 137 Oberwellen Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A	.55
Abbildung 138 DAB-Spektrumsmaske Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A ETL	.56
Abbildung 139 DAB-Spektrumsmaske Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A ESRP	.56
Abbildung 140 Gesamtübersicht Plischsender Kanal 5A	.56
Abbildung 141 Gesamtübersicht Plischsender Kanal 9A	.56
Abbildung 142 Gesamtübersicht Plischsender Kanal 12A	.57
Abbildung 143 Gesamtübersicht Plischsender mit Maskenfilter Kanal 12A	.57
Abbildung 144 Spektrum in Abhängigkeit der Leistung EasyDAB	.60
Abbildung 145 Schulterabstand EasyDAB Kanal 5A	.61
Abbildung 146 Schulterabstand EasyDAB Kanal 9A	.61
Abbildung 147 Schulterabstand EasyDAB Kanal 12A	.61
Abbildung 148 Schulterabstand EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.61
Abbildung 149 Crestfaktor EasyDAB Kanal 5A	.62
Abbildung 150 Crestfaktor EasyDAB Kanal 9A	.62
Abbildung 151 Crestfaktor EasyDAB Kanal 12A	c^{2}
5	.62

Abbildung 153 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB Kanal 5A	.63
Abbildung 154 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB Kanal 9A	.63
Abbildung 155 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB Kanal 12A	.63
Abbildung 156 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.63
Abbildung 157 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB Kanal 5A	.64
Abbildung 158 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB Kanal 9A	.64
Abbildung 159 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB Kanal 12A	.64
Abbildung 160 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB	
mit Maskenfilter Kanal 12A	.64
Abbildung 161 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB Kanal 5A	.65
Abbildung 162 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB Kanal 9A	.65
Abbildung 163 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB Kanal 12A	.65
Abbildung 164 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.65
Abbildung 165 Konstellationsdiagramm EasyDAB Kanal 5A	.66
Abbildung 166 Konstellationsdiagramm EasyDAB Kanal 9A	.66
Abbildung 167 Konstellationsdiagramm EasyDAB Kanal 12A	.66
Abbildung 168 Konstellationsdiagramm EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.66
Abbildung 169 Modulationsfehlerrate EasyDAB Kanal 5A	.67
Abbildung 170 Modulationsfehlerrate EasyDAB Kanal 9A	.67
Abbildung 171 Modulationsfehlerrate EasyDAB Kanal 12A	.67
Abbildung 172 Modulationsfehlerrate EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.67
Abbildung 173 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB Kanal 5A	.68
Abbildung 174 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB Kanal 9A	.68
Abbildung 175 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB Kanal 12A	.68
Abbildung 176 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB	
mit Maskenfilter Kanal 12A	.68
Abbildung 177 Oberwellen EasyDAB Kanal 5A	.69
Abbildung 178 Oberwellen EasyDAB Kanal 9A	.69
Abbildung 179 Oberwellen EasyDAB Kanal 12A	.69
Abbildung 180 Oberwellen EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.69
Abbildung 181 DAB-Spektrumsmaske EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A ETL	.70
Abbildung 182 DAB-Spektrumsmaske EasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A ESRP	.70
Abbildung 183 Gesamtübersicht EasvDAB Kanal 5A	.71
Abbildung 184 Gesamtübersicht FasyDAB Kanal 9A	.71
Abbildung 185 Gesamtübersicht FasyDAB Kanal 12A	.71
Abbildung 186 Gesamtübersicht FasyDAB mit Maskenfilter Kanal 12A	.71
Abbildung 187 Schulterabstand B200 ohne Vorverzerrung	.74
Abbildung 188 Schulterabstand B200 mit Vorverzerrung	.74
Abbildung 189 Schulterabstand Plisch	74
Abbildung 190 Schulterabstand FasyDAB	74
Abbildung 191 Crestfaktor B200 ohne Vorverzerrung	75
Abbildung 192 Crestfaktor B200 mit Vorverzerrung	.75
Abbildung 193 Crestfaktor Plisch	75
Abbildung 194 Crestfaktor FasyDAB	75
ADDITUTING 104 CIESTIANUI LASYDAD	.,,

Abbildung 105 Amplitude und Phase im Kanal B200 ebas Venuerzerrung	76
Abbildung 195 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Verserserrung.	70
Abbildung 196 Amplitude und Phase im Kanal B200 mit Vorverzerrung	76
Abbildung 197 Amplitude und Phase im Kanal Pilsch	76
Abbildung 198 Amplitude und Phase im Kanal EasyDAB	76
Abbildung 199 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 ohne Vorverzerrung	77
Abbildung 200 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal B200 mit Vorverzerrung	77
Abbildung 201 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal Plisch	77
Abbildung 202 Amplitude und Gruppenlaufzeit im Kanal EasyDAB	77
Abbildung 203 IQ-Ungleichgewicht B200 ohne Vorverzerrung	78
Abbildung 204 IQ-Ungleichgewicht B200 mit Vorverzerrung	78
Abbildung 205 IQ-Ungleichgewicht Plisch	78
Abbildung 206 IQ-Ungleichgewicht EasyDAB	78
Abbildung 207 Konstellationsdiagramm B200 ohne Vorverzerrung	79
Abbildung 208 Konstellationsdiagramm B200 mit Vorverzerrung	79
Abbildung 209 Konstellationsdiagramm Plisch	79
Abbildung 210 Konstellationsdiagramm EasyDAB	79
Abbildung 211 Modulationsfehlerrate B200 ohne Vorverzerrung	80
Abbildung 212 Modulationsfehlerrate B200 mit Vorverzerrung	80
Abbildung 213 Modulationsfehlerrate Plisch	80
Abbildung 214 Modulationsfehlerrate EasyDAB	80
Abbildung 215 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 ohne Vorverzerrung	81
Abbildung 216 Modulationsfehlerrate über der Frequenz B200 mit Vorverzerrung	81
Abbildung 217 Modulationsfehlerrate über der Frequenz Plisch	81
Abbildung 218 Modulationsfehlerrate über der Frequenz EasyDAB	81
Abbildung 219 Oberwellen B200 ohne Vorverzerrung	82
Abbildung 220 Oberwellen B200 mit Vorverzerrung	82
Abbildung 221 Oberwellen Plisch	82
Abbildung 222 Oberwellen EasyDAB	82
Abbildung 223 DAB-Spektrumsmaske B200 ohne Vorverzerrung	83
Abbildung 224 DAB-Spektrumsmaske B200 mit Vorverzerrung	83
Abbildung 225 DAB-Spektrumsmaske Plisch	83
Abbildung 226 DAB-Spektrumsmaske EasyDAB	83
Abbildung 227 Gesamtübersicht B200 ohne Vorverzerrung	84
Abbildung 228 Gesamtübersicht B200 mit Vorverzerrung	84
Abbildung 229 Gesamtübersicht Plisch	84
Abbildung 230 Gesamtübersicht EasyDAB	84

8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Legende zu Abbildung 14	17
Tabelle 2 MER in Abhängigkeit der Leistung B200 ohne Vorverzerrung	17
Tabelle 3 Messergebnisse B200 ohne digitale Vorverzerrung	
Tabelle 4 Legende zu Abbildung 56	31
Tabelle 5 MER in Abhängigkeit der Leistung B200 mit digitaler Vorverzerrung	31
Tabelle 6 Messergebnisse B200 mit digitaler Vorverzerrung	45
Tabelle 7 Legende zu Abbildung 98	46
Tabelle 8 MER in Abhängigkeit der Leistung Plisch	46
Tabelle 9 Messergebnisse Plischsender	59
Tabelle 10 Legende zu Abbildung 140	60
Tabelle 11 MER in Abhängigkeit der Leistung EasyDAB	60
Tabelle 12 Messergebnisse EasyDAB	73
Tabelle 13 Messergebnisse Vergleich unterschiedliche Sender	

9 LITERATUR

- [1] *Opendigitalradio.org Open techniques for Digital Radio Broadcasting.* [Online] Verfügbar unter: https://www.opendigitalradio.org/. Zugriff am: Nov. 15 2018.
- [2] ITU Radiocommunication Sector, "Recommendation UIT-R BS.1114-10 (12/2017) Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz".
- [3] EAC, "Draft ETSI EN 302 077 V2.1.0".
- [4] C. Klaus, "Messungen an DAB Sendern für Abnahme, Inbetriebnahme oder Wartung".
- [5] Immanuell Friedrichsen, Aufbau und der Inbetriebnahme eines DAB-Multiplexers/-Modulators auf Basis der ODR-mmb-Tools und des DAB-Senders der Firma GatesAir.
- [6] Johannes Gehres, Aufbau und Inbetriebnahme eines DAB-Multiplexers/-Modulators auf Basis der ODR-mmb-Tools und des DAB-Modulators EasyDab v2 in einem Werkzeugkoffer (DAB-Toolbox-Sender).
- [7] *EasyDAB v2 (Ethernet interface DAB/DAB+ modulator) | tipok.org.ua.* [Online] Verfügbar unter: http://tipok.org.ua/node/46. Zugriff am: Mai. 17 2018.
- [8] *B200/B210/B200mini/B205mini Ettus Knowledge Base.* [Online] Verfügbar unter: https://kb.ettus.com/B200/B210/B200mini/B205mini. Zugriff am: Jun. 02 2018.
- [9] Plisch GmbH / B. Nachmann, "Serie 4000 Flyer".
- [10] R. & S. International, R&S[®]ETL TV Analyzer Übersicht. [Online] Verfügbar unter: https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/etl-produkt-startseite_63493-9255.html. Zugriff am: Jun. 11 2018.
- [11] R. & S. International, R&S[®]ESRP EMI Test Receiver Übersicht. [Online] Verfügbar unter: https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/esrp-produkt-startseite_63493-35077.html. Zugriff am: Jun. 18 2018.
- [12] BR, "Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band".
- [13] University of California Santa Barbara, Predistortion at Baseband (Digital Domain).
- [14] Opendigitalradio/ODR-DabMod. [Online] Verfügbar unter: https://github.com/Opendigitalradio/ODR-DabMod/tree/master/dpd. Zugriff am: Jul. 30 2018.
- [15] Rohde&Schwarz, "ApplicationNote 7TS02_2E: The Crest Factor in DVB-T (OFDM) Transmitter Systems and its Influence on the Dimensioning of Power Components".
- [16] W. Fischer, Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis: MPEG-Basisbandcodierung, DVB-, DAB-, ATSC-, ISDB-T-Übertragungstechnik, Messtechnik, 3. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 2010.