

Messungen an DVB-T2 Sendern für Abnahme, Inbetriebnahme oder Wartung

Application Note

Products:

- R&S®ETL
- R&S®ETC

Der terrestrische Fernsehstandard DVB-T2 wird aufgrund der Frequenzknappheit zunehmend bedeutender. Weltweit werden in vielen Ländern neue Systeme getestet. In anderen Ländern ist die Einführungsphase von DVB-T2 bereits abgeschlossen. Für Rundfunksender gelten allgemein besonders hohe Anforderungen an die Qualität des ausgestrahlten Signals, da bereits kleine Beeinträchtigungen zu Versorgungsausfällen bei vielen Zuschauern führen können oder benachbarte Kanäle stören können.

Mit nur einem Messgerät, dem R&S®ETL TV Analysator, lassen sich am DVB-T2 Sender alle erforderlichen Messungen von anfänglicher Senderabnahme über Inbetriebnahme bis hin zur regelmäßigen Wartung durchführen.

Table of Contents

1 Überblick	4
2 Vergleich DVB-T und DVB-T2	5
3 Messvorbereitungen.....	6
3.1 Erforderliche Messausrüstung.....	6
3.2 Messaufbau	7
3.3 Betriebsart des Senders	7
3.3.1 Überprüfen der DVB-T2 Standardkonformität	9
3.4 Schutz vor zerstörerischer Eingangsleistung	9
3.5 Grundkonfiguration und Pegelung am R&S®ETL.....	10
4 Messungen	12
4.1 Leistung	13
4.1.1 Senderausgangspegel.....	13
4.1.2 Crest-Faktor	15
4.2 Modulatoreigenschaften	18
4.2.1 I/Q-Fehler.....	18
4.2.2 Amplitudengang und Gruppenlaufzeit	20
4.3 Außerbandanteile.....	22
4.3.1 Schulterabstand und Nachbarkanalaussendungen.....	22
4.3.2 Oberwellen.....	27
4.4 Signalqualität	28
4.4.1 L1-Pre- und Post-Signalling.....	28
4.4.2 Frequenzgenauigkeit	30
4.4.3 Modulation Error Ratio.....	31
4.4.4 Konstellationsdiagramm	33
4.4.5 Bitfehlerverhältnisse.....	35
5 Abkürzungen	38
6 Literatur	39
7 Zusatzinformation.....	39
8 Bestellangaben	40

8.1	R&S®ETL & Power Sensor	40
8.2	R&S®ETC	41
A	Transportstromgenerierung mit R&S®ETL.....	42
B	Messunsicherheit der rücklaufenden Leistung.....	43
C	Filterfrequenzgang-Erfassung in Transducerdatei	45
D	Automatisierte Messungen mit R&S®TxCheck.....	47

1 Überblick

Der terrestrische Fernsehstandard DVB-T2 wird aufgrund der Frequenzknappheit zunehmend bedeutender. Weltweit werden in vielen Ländern neue Systeme getestet. In anderen Ländern ist die Einführungsphase von DVB-T2 bereits abgeschlossen. Für Rundfunksender gelten allgemein besonders hohe Anforderungen an die Qualität des ausgestrahlten Signals, da bereits kleine Beeinträchtigungen zu Versorgungsausfällen bei vielen Zuschauern führen können oder benachbarte Kanäle stören können.

Mit nur einem Messgerät, dem R&S®ETL TV Analysator, lassen sich am DVB-T2 Sender alle erforderlichen Messungen von anfänglicher Senderabnahme über Inbetriebnahme bis hin zur regelmäßigen Wartung durchführen.

Die beschriebenen Messungen entsprechen vielen länder- und kundenspezifischen Prüfnormen. Lediglich die Grenzwerte sind gegebenenfalls anzupassen.

Zunächst wird in Kapitel 2 DVB-T2 kurz mit seinem Vorgänger DVB-T verglichen. Kapitel 3 erläutert die vorbereitenden Schritte. Neben der erforderlichen Messausrüstung, der Senderbetriebsart und des Messaufbaus zählt dazu auch der Schutz der Messtechnik vor überhöhter zerstörerischer Eingangsleistung. Abschließend werden die häufig verwendeten Grundkonfigurationen des R&S®ETL beschrieben.

Die einzelnen Messungen werden anschließend in Kapitel 4 vorgestellt. Für jedes Reservesystem im Sender sind diese Messungen zumindest bei der Inbetriebnahme zu wiederholen. Wartungsmessungen können sich hingegen zunächst auf Leistungs-, MER- und BER-Messungen beschränken, um dann nur bei Bedarf entsprechend erweitert zu werden.

Da für regelmäßige Wartungen nicht zwingend alle Messungen erneut durchgeführt werden, bietet Rohde & Schwarz als kostengünstige Alternative zum R&S®ETL den R&S®ETC (siehe Abb. 1-1). Dieser kompakte TV Analyzer kann hochwertig einen Großteil der hier beschriebenen Messungen durchführen.



Abb. 1-1: R&S®ETL (links) und R&S®ETC (rechts)

Anhang D beschreibt schließlich, welche dieser Messungen automatisiert durch die R&S®TxCheck Software des R&S®ETL erfasst werden können.

Weitere Hintergrundinformationen rund um das Thema bietet das Buch „Digital Video and Audio Broadcasting Technology“ von Walter Fischer [1].

2 Vergleich DVB-T und DVB-T2

Verglichen mit seinem Vorgänger DVB-T ermöglicht DVB-T2 bei gleichbleibender Kanalbandbreite 30-50% höhere Datenraten, welche vor allem durch höhere QAM Ordnung und Extended Carrier Mode möglich sind. Die maximale Nettodatenrate von DVB-T2 liegt bei über 50 Mbit/s. Dies ermöglicht bei gleichbleibender Bandbreite die Anzahl der Programme zu vergrößern und/oder die Programmqualität zu erhöhen. DVB-T2 ist gegenüber DVB-T deutlich komplexer, bei der Senderabnahme werden jedoch ähnliche Messparameter überprüft.

Wie auch schon bei DVB-T gibt es bei DVB-T2 einen äußeren und einen inneren Fehlerschutz. Bei DVB-T2 wird eine Kombination aus BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem-code) und LDPC (Low Density Parity Check) eingesetzt. Die für den LDPC Algorithmus notwendige Berechnung im Empfänger erfordert bedeutend mehr Rechenleistung als der bei DVB-T eingesetzte Fehlerschutz Reed Solomon (RS). Deshalb wird der bereits Mitte der neunziger Jahre entwickelte LDPC Algorithmus auch erst bei den Übertragungsstandards der zweiten Generation eingesetzt.

Vergleich DVB-T und DVB-T2		
	DVB-T	DVB-T2
Kanalbandbreite	5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz	1.7 MHz, 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz, 10 MHz
FFT-Ordnung	2k, 4k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 8k Extended, 16k, 16k Extended, 32k, 32k Extended
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Fehlerschutz und Coderate	Convolutional Coding & Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC & BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Schutzabstand (Guard Interval)	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128

Alternativ zu den von DVB-T bekannten MPEG-2 Transportströmen (TS) kann dem Sender über das DVB-T2 Modulator Interface (T2-MI) ein generischer Strom zugeführt werden. Ein T2-MI Strom kann mehrere Transportströme (TS) enthalten. Je Transportstrom gibt es eine Physical Layer Pipe (PLP). Jede PLP kann einen oder mehrere Service enthalten. Die optionale Common PLP enthält Daten die von mehreren anderen PLPs benötigt werden. PLPs ermöglichen es in einem Kanal Service mit verschiedener Robustheit, durch Variation von Coderate und Modulation (Variable Coding and Modulation – VCM) zu übertragen. Dies gestattet die Versorgung mit Audio, Video und Datenservice von mobilen, portablen und stationären Geräten. Der T2-MI Strom wird im DVB-T2 Gateway erzeugt. Das DVB-T2 Gateway fügt Signalisierungsinformationen für den Sender (z.B. Modulation, Coderate) hinzu und fügt die Transportströme zusammen. Der erzeugte T2-MI Strom wird zur Ausstrahlung an mehrere Senderstandorte verteilt. Für die Verwendung von Multi-PLP oder Gleichwellennetze (SFN) muss die T2-MI Zuführung verwendet werden.

3 Messvorbereitungen

3.1 Erforderliche Messausrüstung

Grundausrüstung



R&S®ETL TV Analysator mit:

- entsprechender Optionierung (siehe Kapitel 8)
- aktueller Firmware (kostenlos auf www.rohde-schwarz.com/product/ETL.html)

Applikations- und messspezifische Messausrüstung



Für den Testbetrieb des Senders ohne Signalausstrahlung bei Senderabnahme oder Inbetriebnahme

Kunstantenne



Für Senderausgangspegel (4.1.1) mit einer Messgenauigkeit von < 0,1 dB

Zusätzlicher Leistungsmesskopf, zum Beispiel R&S®NRP-Z91



Für die Messung von Schulterabstand und Nachbarkanalausstrahlungen (4.3.1) bei der Variante „nach Maskenfilter“

Messbandsperre mit mindestens 40 dB Nutzsingaldämpfung



Für die Messung der Oberwellen (4.3.2)

Hochpassfilter mit mindestens 40 dB Nutzsingaldämpfung

3.2 Messaufbau

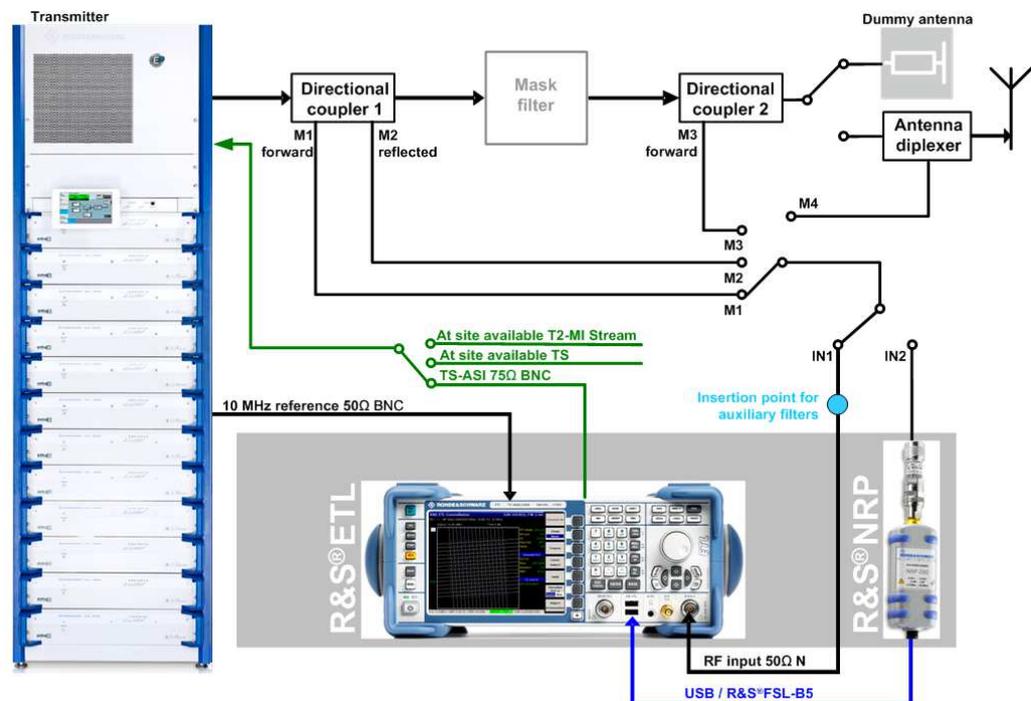


Abb. 3-1: Messaufbau

Zur Senderabnahme ist der Senderausgang an eine Kunstantenne angeschlossen. Bei der Inbetriebnahme werden die Messungen zuerst mit Kunstantenne durchgeführt, bevor das Signal zur Ausstrahlung mit der Antennenweiche verbunden wird. Hierdurch steht als weiterer Messpunkt die Mess-Schnittstelle an der Antennenweiche (M4) zur Verfügung. Bei Wartungsmessungen ist das Signal ebenfalls zur Ausstrahlung mit der Antennenweiche verbunden.

Zur Abnahme kann der Sender mit einem MPEG-2 TS gespeist werden. Dieser kann zum Beispiel vom R&S®ETL TS-Generator (siehe Anhang A) erzeugt werden. Zur Inbetriebnahme und Wartung wird der Sender mit dem am Sendestandort verfügbaren T2-MI Strom oder MPEG-2 TS gespeist.

3.3 Betriebsart des Senders

Die DVB-T2-Basisband-Interface Zuführung kann in verschiedenen Formaten erfolgen:

- MPEG-2 Transport Stream (TS): fixed packed length (188 Byte)
- Generic Continuous Stream (GCS): no packet structure
- Generic Fixed Packetized Stream (GFPS): fixed packed length
- Generic Stream Encapsulation (GSE): variable packet length

Soll das Netz nicht als SFN betrieben werden und enthält das Sendesignal nur eine PLP und verwendet weder FEF (Future Extension Frames), ISSY (Input Stream

Synchronizer), NPD (Null packet deletion) noch T2Lite, kann die Parametrisierung direkt am Sender erfolgen. Der Sender wird in diesem Fall im Mode A betrieben und mit einem MPEG-2 TS gespeist.

Für komplexe DVB-T2 Signale muss die Konfiguration des DVB-T2 Modulators über den T2-MI Strom (ETSI TS 102 773 Modulator Interface) erfolgen. In diesem Fall erfolgen die Layer 1 (L1)-Parametrisierung sowie die Parametrisierung der einzelnen PLPs nicht am Sender sondern im T2-MI Gateway. Diese Betriebsart wird als Mode B bezeichnet und ist Voraussetzung für ein SFN. In der Praxis sind im Moment vor allem SFN-Netze (Mode B) mit einer PLP verbreitet.

Der MPEG-2 TS oder der T2-MI Strom kann zum Beispiel vom R&S®ETL TS-Generator (siehe Anhang A) ausgegeben werden.

Die in dieser Messanweisung erläuterten Messungen basieren auf folgenden Sender-Betriebsparametern:

Framing & OFDM:

- 8 MHz Kanalbandbreite
- FFT-Mode = 32k Extended
- Schutzabstand (Guard interval - GI) = 1/128
- Pilot Pattern = PP7

T2 System:

- L1 Post Modulation: 64QAM¹

Network Settings:

- Peak to Average Power Ratio (PAPR): Off
- Future Extension Frames (FEF): Off

Bit-interleaved coding and modulation (BICM):

- Single PLP: PLP ID 0
- FEC Frame: Normal
- Coderate = 2/3
- PLP Konstellationsordnung: 256QAM
- Konstellationsrotation On

¹ Sinnvoll ist es, die Modulationsordnung der L1 Daten um eine Ordnung niedriger zu wählen, als die Modulation der PLPs. Bei Single PLP werden kaum Signalisierungsdaten übertragen, weshalb in der Praxis in diesem Fall die niedrigste Modulationsordnung ausgewählt werden kann.

3.3.1 Überprüfen der DVB-T2 Standardkonformität

Aufgrund der vielfältigen Parametrisierungsmöglichkeiten bei DVB-T2 kommt es immer wieder vor, dass die eingestellten Parameter nicht DVB-T2 standardkonform sind. Dies kann dazu führen, dass manche Empfänger das Signal nicht dekodieren können. Deshalb muss die Standardkonformität der Senderkonfiguration überprüft werden. Bei Verwendung eines MPEG-2 TS erfolgt dies im Sender. Bei Verwendung eines T2-MI Stroms kann die Standardkonformitätsprüfung am Gateway oder am Sender stattfinden.

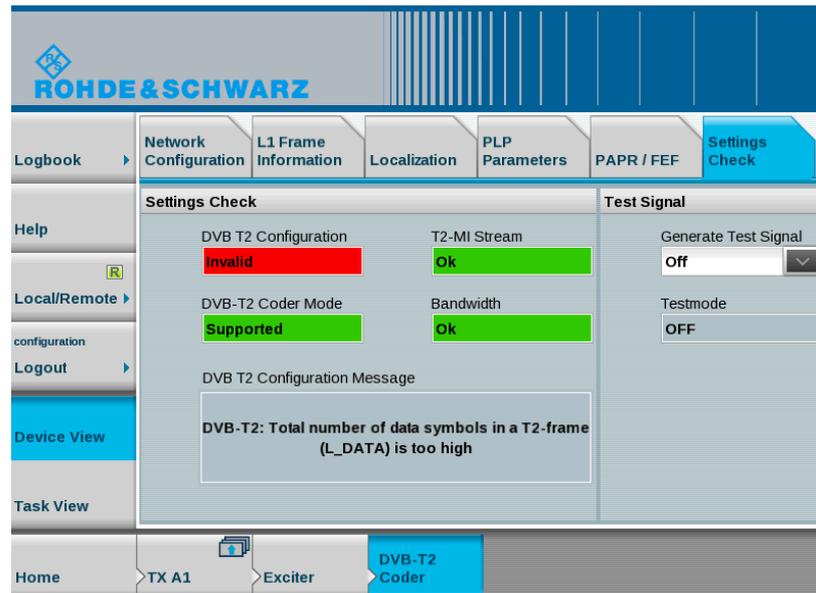


Abb. 3-2: Überprüfung der Standardkonformität bei einem R&S®TCE900

3.4 Schutz vor zerstörerischer Eingangsleistung

Für den R&S®ETL betragen die maximal zulässigen Eingangsleistungsspitzen 36 dBm (kurzzeitig für < 3 s), der empfohlene separate Leistungsmesskopf R&S®NRP-Z91 ist bis 23 dBm spezifiziert.

Daher wird empfohlen, die durchschnittliche anliegende Gesamtleistung an den einzelnen Mess-Schnittstellen gegebenenfalls durch zusätzliche Dämpfungsglieder auf -10 dBm bis +10 dBm zu begrenzen. Dieser Bereich bietet einen ausreichenden Schutzabstand vor kurzzeitigen Leistungsspitzen und beeinträchtigt gleichzeitig nicht die Genauigkeit der Messgeräte.

3.5 Grundkonfiguration und Pegelung am R&S®ETL

Die Beschreibung der Bedienschritte erfolgt gemäß folgender Syntax:

- Begriffe in Großbuchstaben meinen die Benutzung der gleichnamigen Taste, z.B. „FREQ“ für 
- Aufgezählte Anweisungen (z.B. • TV Standard: OFDM DVB-T2) beziehen sich auf Einstellungen im aktuell angezeigten Konfigurationsdialog
- Die restlichen Begriffe referenzieren auf die aktuell am rechten Bildschirmrand angezeigten Softkeys. Hierbei trennen Pfeile „→“ die nacheinander zu drückenden Tasten.

Für den R&S®ETL gelten die folgenden Grundkonfigurationen, sofern es im jeweiligen Abschnitt nicht anders angegeben ist:

Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“
SETUP→Reference Ext: Benutzung der externen 10 MHz Referenzfrequenz
MODE→Spectrum Analyzer
FREQ→Center: Auf Kanalmittenfrequenz einstellen
SPAN→Span Manual: Auf 20 MHz einstellen
TRACE→Detector Manual Select→Detector RMS
BW→Res BW Manual: Auf 30 kHz einstellen
SWEEP→SweepTime Manual: Auf 2 s einstellen
AMPT→More→Preselector: Off ¹
AMPT→RF Atten Manual: Möglichst niedrig wählen ohne hierbei zu übersteuern ²
AMPT→Ref Level: Reference Level so einstellen, dass gesamtes Signal gut zu erkennen ist, falls notwendig unter AMPT→Range Log die Skalierung des Grids ändern

¹ Nur wenn ein Preselector im Gerät verfügbar ist

² Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovld“.

Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“
SETUP→Reference Ext: Benutzung der externen 10 MHz Referenzfrequenz
MODE→TV/Radio Analyzer/Receiver
MEAS→Digital TV Settings <ul style="list-style-type: none"> • TV Standard: OFDM DVB-T2 • Channel Bandwidth: 1,7 MHz, 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz oder 8 MHz auswählen
FREQ→Channel RF: Entsprechend der Sendefrequenz wählen
MEAS→Special Settings→System Opt.→Slow/Laboratory ¹

Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“
MENU→Adjust Attenuation ²
AMPT→Preamp: Off
AMPT→More→Preselector: Off ³
AMPT→RF Atten Manual: Möglichst niedrig wählen ohne hierbei zu übersteuern ⁴

¹ Optimierte den Empfänger für stationären Empfang

² Für die grobe Einpegelung.

³ Der Preselector wird nur verwendet, wenn Nachbarkanäle vorhanden sind. Dies ist z.B. bei Messungen an der Antennenweiche der Fall.

⁴ Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovld“.

4 Messungen

Zur schnellen Überprüfung wird in allen Messungen in denen das Signal demoduliert wird in der Fußzeile angezeigt, ob demoduliert werden kann und ob das Synchronisieren auf eine PLP erfolgreich war. In der Fußzeile werden außerdem die wichtigen Parameter Level, BER und MER angezeigt (siehe Abb. 4-1).

Eine erste Kontrolle der Signalqualität kann im Overview Modus erfolgen. Bei Verwendung des „Overview“ Modus kann sowohl die Einheit als auch die vordefinierten Grenzwerte der Tabelle über MEAS→Overview→Edit Table eingestellt werden (siehe Abb. 4-1). Messwerte die außerhalb der eingegebenen Grenzen liegen, werden rot dargestellt. Damit auch auf schwarz-weiß Ausdrucken Grenzwertüberschreitungen schnell zu erkennen sind, sind diese Werte zusätzlich mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Liegen alle Messwerte in den vorgegebenen Grenzen, wird am linken Bildschirmrand die Signalisierung OLim (Overview Limits) in grün angezeigt. Befindet sich ein Messwert nicht in diesen Grenzen wird OLim in rot angezeigt. Diese Signalisierung wird in allen Messbildschirmen außer der Spektralanalyse angezeigt und bezieht sich immer auf die Messwerte im „Overview“ Modus.

Ch: --- RF 538.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -10.00 dBm

Level -2.6 dBm

Pass	Limit <	Results	< Limit	Unit
Level	-60.0	-2.6	10.0	dBm
Sideband		normal		dBm
FFT Mode		32k ext		dBpW
Guard Interval		1/128		W
Carrier Freq Offset	-30000.0	0.1	30000.0	dBmV
Bit Rate Offset	-100.0	0.0	100.0	dBµV
MER (L1,rms)	24.0	35.4	-----	V
				dBµA
				A
PLP Data (Decoded PLP ID 0)				
MER (PLP,rms)	24.0	35.7	-----	dB
BER before LDPC		0.0e-9(30%/1e10)	1.0e-2	
LDPC Iterations		1.00		
BER before BCH		0.0e-9(20%/1e10)	1.0e-5	
BBFRAME Error Ratio		0.0e-4(44%/1e5)	1.0e-10	
Errored Second Ratio		0% (20/20)	10	%
TS Packet Error Ratio		n/a (HEM)	1.0e-7	

Lvl -2.6dBm | BER 0.0e-9 | MER 35.7dB | DEMOD | PLP: 0

Abb. 4-1: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview→Edit Table: Auswahl der Einheit für den gemessenen Pegel

4.1 Leistung

4.1.1 Senderausgangspegel

Die mittlere Leistung ist beim digitalen Fernsehen konstant und nicht wie beim analogen Fernsehen vom Bildinhalt abhängig. Da das Maskenfilter hinter dem Ausgang des Senders die Ausgangsleistung zwischen ca. 0,1 dB und 0,6 dB dämpft, ist vorzugsweise vor und nach dem Maskenfilter zu messen. Hierbei ist darauf zu achten, dass es sich standardmäßig bei der angezeigten Leistung nur um die vom Messrichtkoppler ausgekoppelte Leistung handelt. Über die Ref Level Offset Funktion des R&S®ETL lässt sich die Auskoppeldämpfung eingeben, die dann bei der Anzeige automatisch mit einberechnet wird.

Die Messung des Signalpegels kann direkt durch den R&S®ETL über den HF-Eingang mit einer Genauigkeit von 1 dB erfolgen. Durch Verwendung eines separaten Leistungsmesskopfes kann eine Genauigkeit von 0,1 dB erzielt werden.

Messablauf	
Jeweils durchzuführen an der Mess-Schnittstelle: <ul style="list-style-type: none"> • M1, für vorlaufende Leistung vor Maskenfilter • M2, für rücklaufende Leistung (Betrachtung der Messunsicherheit, siehe Anhang B) vor Maskenfilter • M3, für vorlaufende Leistung nach Maskenfilter 	
Variante „TV/Radio Analyzer/Receiver“	Variante Leistungsmesskopf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4	
AMPT→More→Ref Level Offset auf die gesamte Auskoppeldämpfung an der Mess-Schnittstelle zur direkten Verrechnung setzen	
Signal in den HF-Eingang des R&S®ETL (IN1) einspeisen	Leistungsmesskopf (IN2) (über USB oder Sensor Eingang verbunden mit R&S®ETL) an die Mess-Schnittstelle anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen	Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Overview	FREQ→Center: Auf Kanalmittemfrequenz einstellen
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen	MENU→Power Meter→Frequency Coupling: <ul style="list-style-type: none"> • Center
	MENU→Power Meter→Power Meter→On
Messwert ablesen, siehe Abb. 4-2	Messwert ablesen, siehe Abb. 4-3

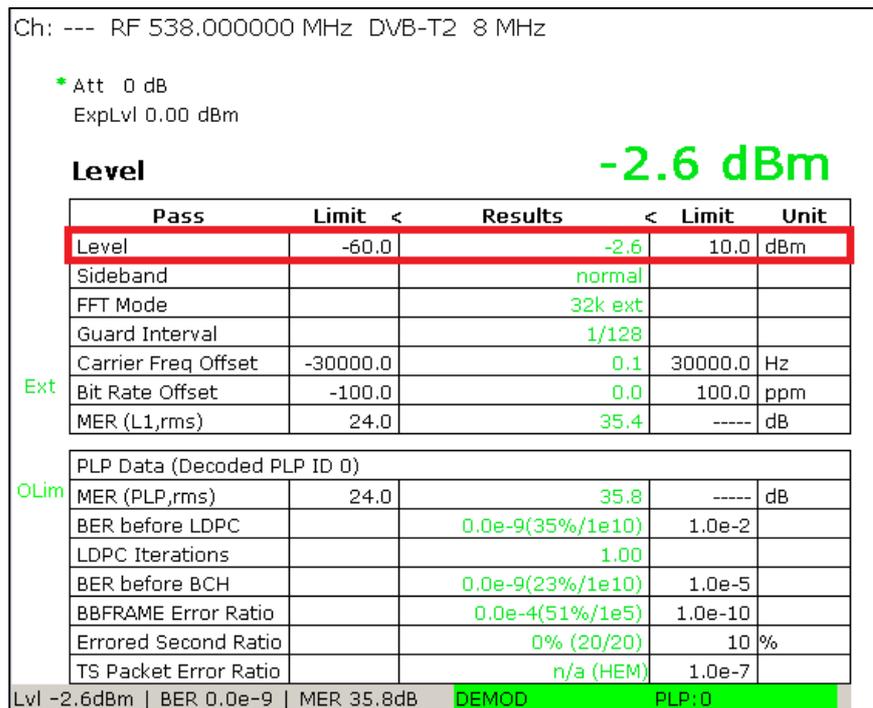


Abb. 4-2: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: Pegel in der ersten Zeile der Tabelle, in der Statuszeile des Messbildschirms, sowie gezoomt (MEAS→Overview→More→Zoom) ablesbar

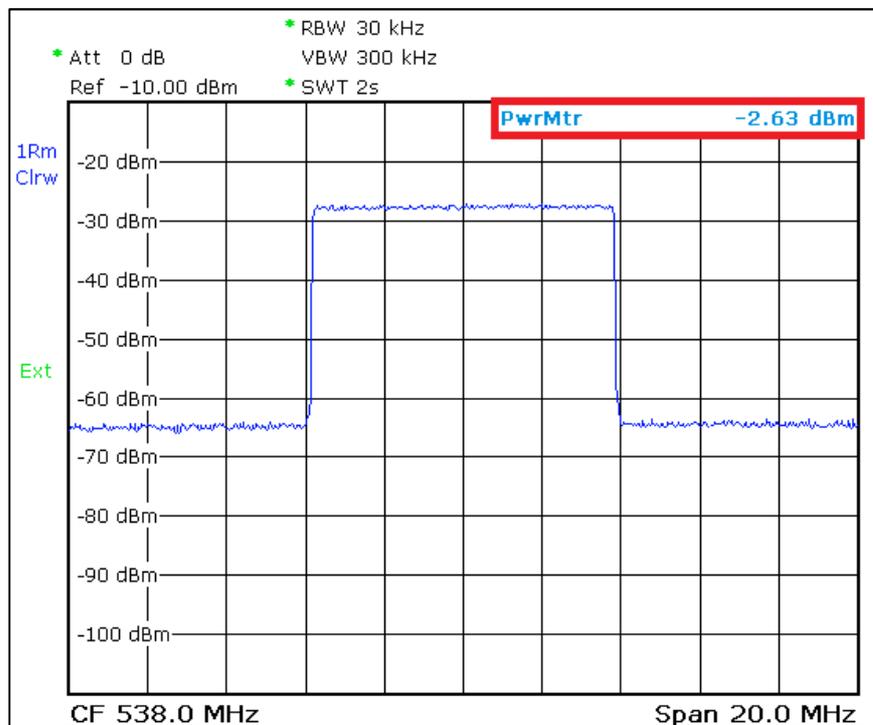


Abb. 4-3: Betriebsart Spektrum Analyzer: DVB-T2 Spektrum mit eingeblendetem Messwert des Leistungsmesskopfes oben rechts

4.1.2 Crest-Faktor

Die Kenntnis des Crest-Faktors ist wichtig für die ausreichende Dimensionierung der dem Sender nachfolgenden Bauelemente wie Maskenfilter, Antennenweiche, Koaxialkabel und Antenne.

Der Crest-Faktor (CF) oder Scheitelfaktor eines Signals wird aus dem Verhältnis höchster vorkommender Amplitude des modulierten Trägersignals (U_{Peak}) zu Effektivspannung (U_{RMS}) berechnet:

$$CF = 20 \cdot \log \frac{U_{Peak}}{U_{RMS}}$$

Neben dieser Definition hat sich eine weitere Betrachtungsweise eingebürgert. Hierbei wird Verhältnis aus Spitzenwert der Modulationshüllkurve (Peak Envelope Power, PEP) und der mittleren Leistung gebildet. Der so ermittelte Wert ist um den Betrag des Crest-Faktors des Sinus-Träger, also um 3,01 dB, geringer. [3]

Orthogonal frequency division multiplex (OFDM) Signale weisen einen sehr hohen Crest-Faktor auf, da sich im Extremfall alle Träger zu einem Zeitpunkt konstruktive überlagern oder auch auslöschen können. In der Praxis liegt der Maximalwert üblicherweise bei 12-15 dB, die Sender werden auf etwa 13 dB begrenzt. Bei DVB-T2 wurden mit PAPR (Peak to Average Power Ratio) Reduction zwei Methoden definiert um den Crest-Faktor zu reduzieren und so den Wirkungsgrad der Sendeendstufen zu erhöhen. Eine Methode wird als Active Constellation Extension (ACE) bezeichnet und kann nur bei nicht gekipptem Konstellationsdiagramm zum Einsatz kommen. Zur Crest-Faktor Reduzierung wird die Trägeramplituden der äußersten Konstellationspunkte geeignet angepasst. Dies ist möglich, da die äußersten Konstellationspunkte ohne Einfluss auf die Demodulation nach außen verschoben werden können. Die andere Methode zur Crest-Faktor Reduzierung ist Tone Reservation (TR). Hierbei werden bestimmte Trägerbereiche reserviert, welche dann nicht für Nutzdaten oder Pilotöne zur Verfügung stehen. Diese speziellen Träger können bei Bedarf vom DVB-T2-Modulator in Amplitude und Phase gesetzt werden, dass der Crest-Faktor reduziert wird.

Damit die Messung repräsentative ist, sind lange Beobachtungszeiträume notwendig. Deshalb wird bei der Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) die statistische Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Signalsitzen angegeben. Die Messung erfolgt im Zeitbereich bei stehendem Oszillator. Bei der CCDF Methode wird der Spitzenwert der Modulationshüllkurve bestimmt, weshalb in diesem Fall der ermittelte Wert um den Faktor $\sqrt{2}$ bzw. 3,01 dB korrigiert werden muss. [4]

Das Maskenfilter am Ausgang des Senders entfernt Intermodulationsprodukte, die außerhalb des Nutzbands liegen, jedoch führt diese Filterung zur Verformung der Hüllkurve, hierdurch kommt es zu einer Erhöhung des Crest-Faktors. Bei der Messung des Crest-Faktors muss also zwischen dem Crest-Faktor des Senders und dem Crest-Faktor des begrenzten Signals (z.B. nach dem Maskenfilter) unterschieden werden.

Mit dem R&S®ETL erfolgt die Messung des Crest-Faktors des Senders in der Betriebsart Spectrum Analyzer unmittelbar an der Mess-Schnittstelle des Senders (M1).

Die Messung des Crest-Faktors des begrenzten Signals kann mit dem R&S®ETL in der Betriebsart Spectrum Analyzer an der Mess-Schnittstelle nach dem Maskenfilter (M3) durchgeführt werden. Alternativ kann die Messung auch an der Mess-Schnittstelle des Senders (M1) erfolgen, wenn die Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gewählt wird. In dieser Betriebsart kommt eine Begrenzung entsprechend der Kanalbandbreite (z.B. 8 MHz) zum Einsatz, wodurch ein Maskenfilter simuliert wird.

Messablauf: Crest-Faktor des Senders
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen
Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→More→CCDF→Res BW: 10 MHz
MEAS→More→CCDF→# of Samples: 1.000.000.000
Abwarten bis Abtastwerte vorliegen: Eine laufende Messung kann an einem roten Viereck mit Stern (🚩) oben links im Messbildschirm erkannt werden, erst wenn dieser Indikator verschwindet, liegt ein gültiges Messergebnis vor.
MEAS→More→CCDF→Scaling→y-Axis Min Value: 1.0e-9
Crest-Faktor ablesen und 3,01 dB hinzuaddieren

Messablauf: Crest-Faktor des begrenzten Signals
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
MEAS→Modulation Analysis→CCDF
Grundkonfiguration und Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→# of Samples: 1.000.000.000
Abwarten bis Abtastwerte vorliegen: Eine laufende Messung kann an einem roten Viereck mit Stern (🚩) oben links im Messbildschirm erkannt werden, erst wenn dieser Indikator verschwindet, liegt ein gültiges Messergebnis vor.
MEAS→More→CCDF→Scaling→y-Axis Min Value: 1.0e-9
Crest-Faktor ablesen, siehe Abb. 4-5 und 3,01 dB hinzuaddieren

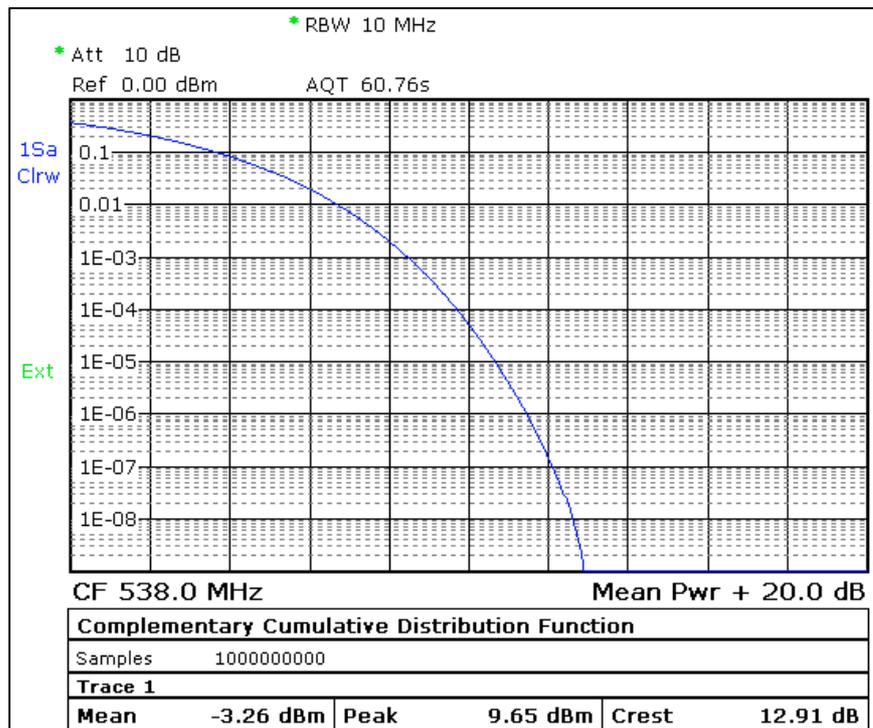


Abb. 4-4: Betriebsart Spektrum Analyzer: Menü MEAS→More→CCDF: Ansicht mit dem ermittelten Crestfaktor des Senders unten rechts

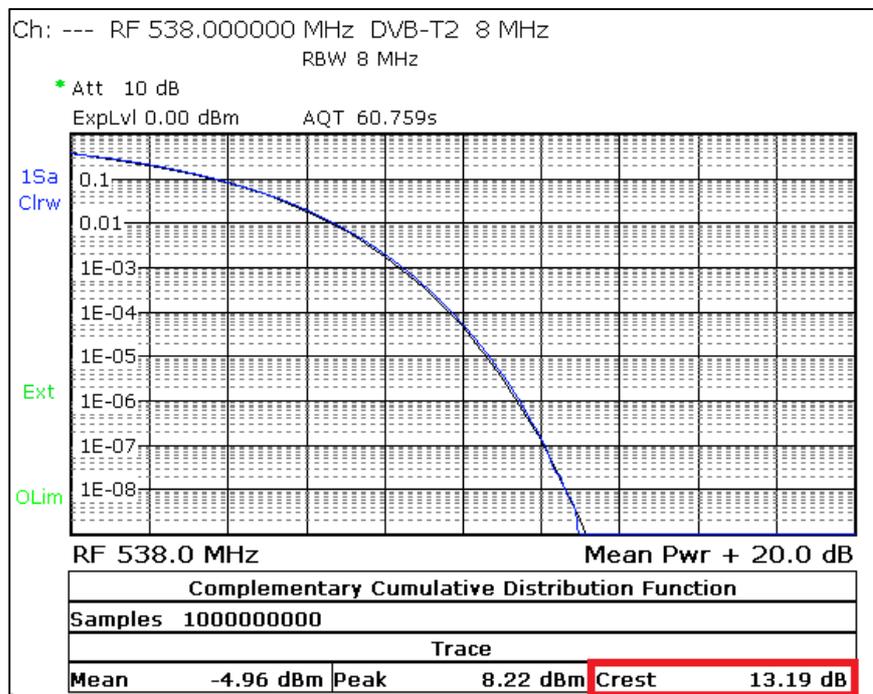


Abb. 4-5: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→CCDF: Ansicht mit dem ermittelten Crestfaktor des begrenzten Signals unten rechts

4.2 Modulatoreigenschaften

4.2.1 I/Q-Fehler

DVB-T2 Modulatoren bestehen im Kern aus einem IFFT Signalverarbeitungsblock mit nachfolgendem I/Q-Modulator. Dieser I/Q-Modulator kann digital oder analog ausgeführt sein. Arbeitet ein DVB-T2 Modulator mit Direktmodulation, so ist der I/Q-Modulator analog realisiert. In diesem Fall muss dieser sauber abgeglichen sein, um folgende Einflüsse zu minimieren:

- I/Q Amplitudenungleichheit („Amplitude Imbalance“)
- I/Q Phasenfehler („Quadrature Error“)
- Mangelhafte Trägerunterdrückung („Carrier Suppression“)

Eine mangelhafte Trägerunterdrückung ist direkt in Bandmitte am MER(f) als Einbruch erkennbar und führt in Bandmitte zu gedrehten und gestauchten Konstellationsdiagrammen. I/Q-Amplitudenungleichheit und I/Q-Phasenfehler beeinflussen das MER aller COFDM Träger und verschlechtern es. Die Träger über der DVB-T2 Bandmitte sprechen hierbei auf die Träger unter der Bandmitte über und umgekehrt.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→Modulation Errors
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
Messwerte ablesen, siehe Abb. 4-6

Ch: --- RF 538.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl 0.00 dBm

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
	Level	-60.0		-2.6		10.0	dBm
	MER (L1, rms)	24.0		35.4		-----	dB
Ext	MER (L1, peak)	10.0		24.9		-----	dB
	MER (PLP, rms)	24.0		35.8		-----	dB
	MER (PLP, peak)	10.0		20.6		-----	dB
OLim	EVM (PLP, rms)	-----		1.07		4.40	%
	EVM (PLP, peak)	-----		6.09		22.00	%
	Carrier Suppression	10.0		41.6			dB
	Carrier Phase			-139.8			deg
	Amplitude Imbalance	-2.00		0.12		2.00	%
	Quadrature Error	-2.00		-0.03		2.00	deg

Lvl -2.6dBm | BER 0.0e-10 | MER 35.8dB DEMOD PLP: 0

Abb. 4-6: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Errors: Amplitude Imbalance, Quadrature Error und Carrier Suppression in den Zeile 8, 10 und 11

4.2.2 Amplitudengang und Gruppenlaufzeit

Beim analogen Fernsehen waren Amplitudengang und Gruppenlaufzeit wichtige Kenngrößen einer Übertragungsstrecke vom Senderausgang bis hin zum Empfängereingang. Aufgrund der Kanalkorrektur im DVB-T2 Empfänger können hier deutlich größere Toleranzen ohne merkbare Qualitätsbeeinträchtigung zugelassen werden. Maskenfilter und Antennenweiche verursachen diese linearen Verzerrungen. Diese linearen Verzerrungen können im Vorentzerrer des Senders kompensiert werden. Dadurch entstehen aber dann lineare Verzerrungen im umkehrten Sinne direkt am Senderausgang.

Die Messung von Amplitudengang und Gruppenlaufzeit erfolgt deswegen bevorzugt nach allen Filterstufen an der Mess-Schnittstelle (M4) in der Antennenweiche. Sie zeigt naturgemäß an den verschiedenen Messpunkten unterschiedliche Ergebnisse.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) falls verfügbar an die Mess-Schnittstelle (M4) der Antennenweiche oder ansonsten an (M3) nach dem Maskenfilter anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Channel Analysis→Amplitude & GroupDelay
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
TRACE→Trace: Trace 1 auswählen
TRACE→Trace Mode: Average
TRACE→Detector Manual: RMS
TRACE→Trace: Trace 2 auswählen
TRACE→Trace Mode: Average
TRACE→Detector Manual: Average
TRACE→Sweep Count: 50
MEAS→Channel Analysis→Amplitude & GroupDelay→Auto Range
Messbildschirm, siehe Abb. 4-7, mit PRINT ausdrucken

Mit dem R&S®ETL kann auch der Phasenverlauf gemessen werden. Der über die Frequenz differenzierte Phasenverlauf ergibt die Gruppenlaufzeit. Eine Überprüfung des Phasenverlaufs ist deshalb nicht zwingend notwendig.

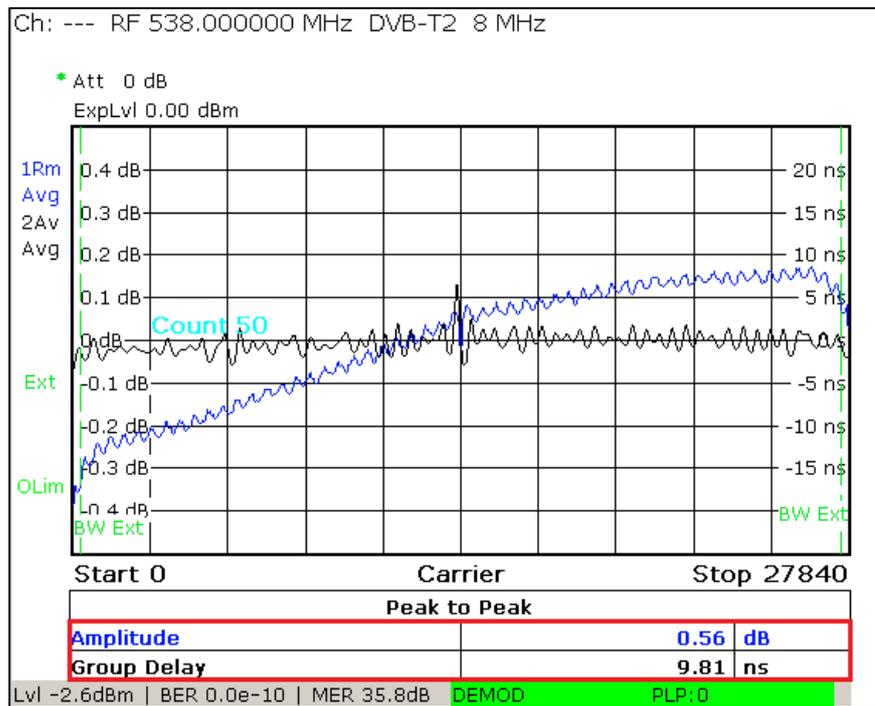


Abb. 4-7: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Channel Analysis→Amplitude & Group Delay: Amplitudengang und Gruppenlaufzeit

4.3 Außerbandanteile

In DVB-T2 Sendern werden sehr lineare AB-Verstärker eingesetzt. Das Sendesignal wird durch eine digitale Vorentzerrungsstufe im Modulator zusätzlich linearisiert. Trotzdem bleiben immer noch Rest-Nichtlinearitäten. Diese führen dazu, dass sich Intermodulationsprodukte der vielen COFDM-Träger bilden.

Zum einen fallen diese zusätzlichen unerwünschten Frequenzkomponenten in den Kanal selbst. Sie wirken dort als zusätzliche Störleistung und senken so die Signalqualität. Zum anderen treten die Intermodulationsprodukte auch außerhalb des Kanals auf und können dadurch die Signalqualität anderer Kanäle stören. Man unterscheidet zwischen folgenden Anteilen:

- Schulterabstand
Beschreibt die Leistung der Störanteile im Nahbereich der Kanalgrenze
- Nachbarkanalausstrahlungen
Anteile im Umkreis einiger MHz der Kanalgrenzen
- Oberwellen
Anteile bei Vielfachen der Senderfrequenz

4.3.1 Schulterabstand und Nachbarkanalausstrahlungen

Die Reduktion dieser unerwünschten Außerbandanteile ist die Aufgabe des Maskenfilters. Von einem kritischen Maskenfilter spricht man, wenn ein zu schützender Nachbarkanal vorhanden ist und daher strengere Vorgaben zur Dämpfung von Außerbandanteilen einzuhalten sind. Ansonsten handelt es sich um ein unkritisches Maskenfilter.

Die für DVB-T verwendeten Werte laut ETSI EN 302 296 werden häufig auch für DVB-T2 verwendet. Entsprechend dieser Norm sind für 7 MHz und 8 MHz Kanalbandbreite die folgenden Dämpfungen mindestens zu erzielen:

f_{rel} [MHz] bei 7 MHz Kanalbandbreite		f_{rel} [MHz] bei 8 MHz Kanalbandbreite	Dämpfung [dB] gegenüber Kanalgesamtleistung bei 4 kHz Bezugsbandbreite		Dämpfung [dB] bei 7 MHz Kanalbandbreite		Dämpfung [dB] bei 8 MHz Kanalbandbreite	
Unkritischer Maske	Kritischer Maske		Unkritischer Maske	Kritischer Maske	Unkritischer Maske	Kritischer Maske	Unkritischer Maske	Kritischer Maske
+/-3,4		+/-3,81	-32,2 (7 MHz) -32,8 (8 MHz)		0		0	
+/-3,7		+/-4,2	-73	-83	-40,8	-50,8	-40,2	-50,2
+/-5,25		+/-6,0	-85	-95	-52,8	-62,8	-52,2	-62,2
+/-10,5		+/-12,0	-110	-120	-77,8	-87,8	-77,2	-87,2
+/-13,85	+/-11,75	-	-126		-93,8		-	

Tabelle 4-1: Toleranzmasken nach ETSI EN 302 296 für Sender mit einer Ausgangsleistung ≥ 25 W

Trotz der für Spektrumsanalytoren sehr hohen Dynamik von typischerweise 58 dB des R&S®ETLs ist aufgrund des hohen Dynamikumfangs des Signals nach dem Maskenfilter die Überprüfung des Einhaltens der Maske nicht direkt möglich. Daher wird in der Praxis zur Reduktion der Nutzbandleistung eine abstimmbare Messbandsperre ("Notch-Filter") eingesetzt. Deren Frequenzgang wird im Vorfeld durch den Trackinggenerator des R&S®ETLs aufgenommen, sodass anschließend der Einfluss auf das Messergebnis **nach dem Maskenfilter** mithilfe der Transducerfunktion automatisch berücksichtigt werden kann.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Frequenzgang des Maskenfilters selbst im Vorfeld mit dem Trackinggenerator zu protokollieren, um dessen Einfluss ebenfalls mit der Transducerfunktion dann in das Ergebnis der Spektrumsanalyse **vor dem Maskenfilter** hineinzurechnen.

Messablauf	
Variante nach Maskenfilter durch Einsatz einer Messbandsperre	Variante vor Maskenfilter
Frequenzgang der abgestimmten Messbandsperre in Transducerdatei erfassen, siehe Anhang C	Frequenzgang des Maskenfilters in Transducerdatei erfassen, siehe Anhang C
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle nach dem Maskenfilter (M3) anschließen und Messbandsperre am „Auxiliary filter insertion point“ mit einbinden	R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen

4.3.1.1 Schulterabstand

Ein Grund für die Schultern ist die Überlagerung der Ausläufer der orthogonalen Einzelträger. Diese werden durch digitale Filtermaßnahmen im Modulator bestmöglich abgesenkt. Bei DVB-T2 sind die FFT Modes 1K, 2K, 4K, 8K, 16K und 32K definiert. Grundsätzlich weist der 1K-Mode höhere Schultern auf, als der 32K-Mode, da die Ausläufer der einzelnen Träger schneller abfallen. Zwischen dem Nutzspektrum und dem Beginn des Nachbarkanals befindet sich zum Schutz der Nachbarkanäle am oberen und unteren Ende des Kanals das Schutzband. Dieses Schutzband (Guard Band) ist bis zu etwa 200 kHz breit. DVB-T2 Sender können im Normal Carrier Mode oder im Extended Carrier Mode betrieben werden. Das breitere Nutzspektrum und damit die höhere Datenrate des Extended Carrier Modes steht ab dem 8K-Mode zur Verfügung. Die Messpunkte und Grenzwerte sind unabhängig vom Carrier Mode.

Die Messung des Schulterabstandes kann mit dem R&S®ETL, wie häufig in der Praxis angewendet, über Cursor-Messungen in der Betriebsart Spectrum Analyzer durchgeführt werden (nur für Experten empfohlen). Alternativ unterstützt der R&S®ETL auch die vollautomatische Messung nach den DVB Measurement Guidelines [2] definierte "Tangenten-Methode".

Beide Methoden werden vom R&S®ETL unterstützt und finden in der Praxis Anwendung, sie führen aber aufgrund der unterschiedlichen Definition nicht zum gleichen Ergebnis.

Messablauf	
Variante Cursor-Messung	Variante Tangenten-Methode
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4	
Messablauf gemäß 4.3.1 folgen	
Unter SETUP→Transducer die zuvor erstellte Transducerdatei aktivieren	
Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen	Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MKR→Marker 1: Auf Center	MEAS→Spectrum→Shoulder Attenuation
MKR→Marker 2: Auf +4.2 MHz ¹	Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MKR→More→Marker 3: Auf -4.2 MHz ¹	Bei Bedarf ² : TRACE→Sweep Count: 100
Markerdifferenzwerte ablesen, siehe Abb. 4-8	Messwert ablesen, siehe Abb. 4-9
Falls gewünscht, mit PRINT ausdrucken	
SETUP→Transducer→Active Off: Transducerdatei deaktivieren	

Asymmetrische Schultern sind Indikatoren für eine schlechte Signalqualität.

¹ Gilt für 8 MHz Kanalbandbreite. Für 7 MHz/6 MHz/1,7 MHz Kanal lautet der Wert 3,7 MHz/3,2 MHz/0,97 MHz.

² Bei der Tangenten-Methode schwankt der Messwert aufgrund der Definition z.T. stark, um dies zu verhindern ist die Mittelung mehrerer Messungen möglich, dies ist aber nicht normgerecht.

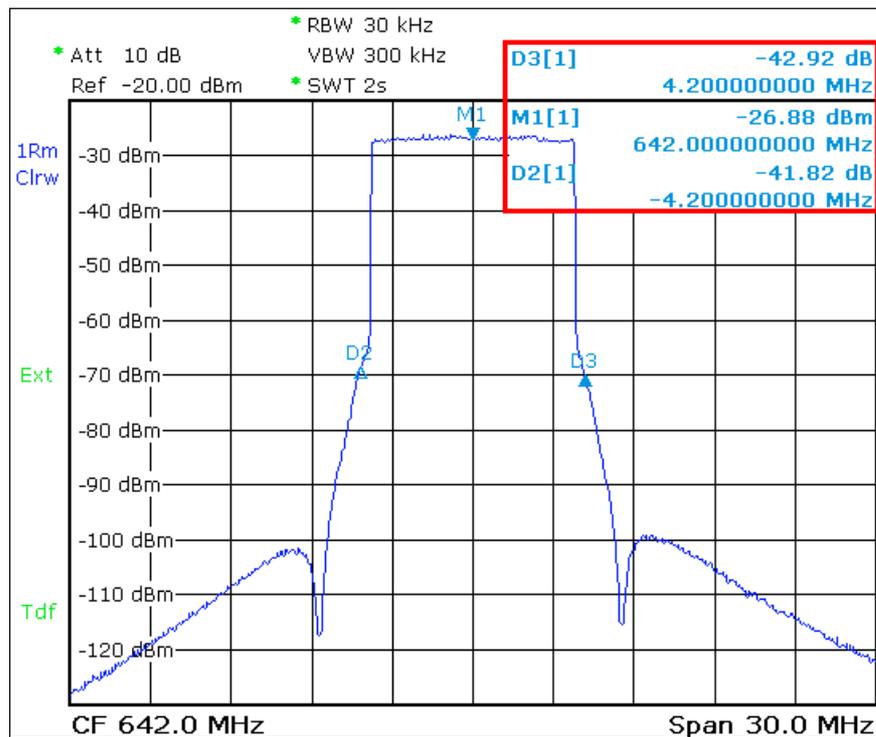


Abb. 4-8: Betriebsart Spektrum Analyzer: Messung des Schulterabstandes nach Cursor-Messmethode mit aktivierter Transducerdatei bei +/- 4,2 MHz im 8 MHz-DVB-T Kanal

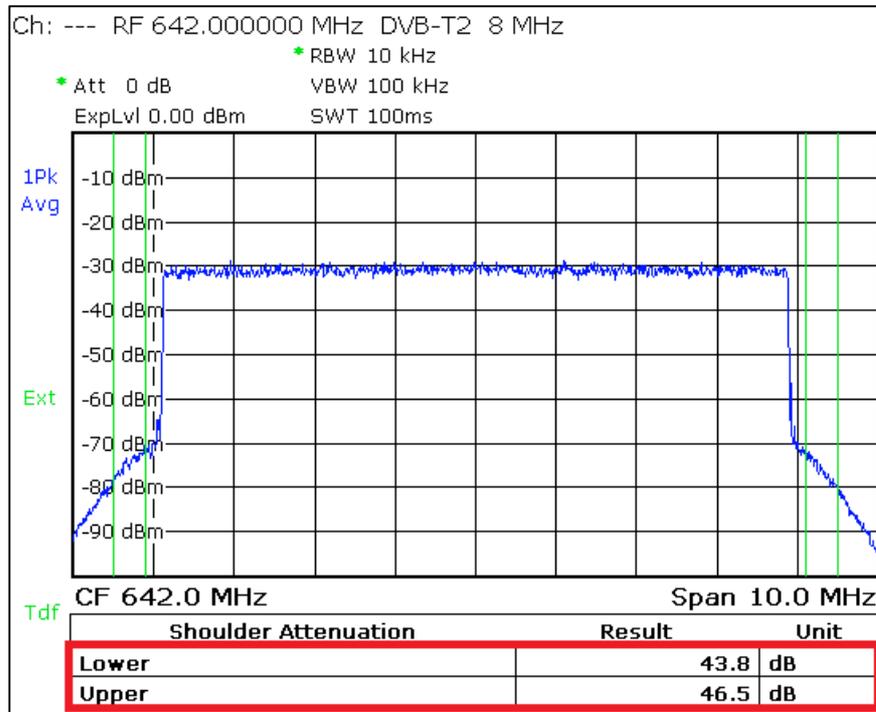


Abb. 4-9: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Spectrum→Shoulder Atten: Schulterabstandsmessung nach der Tangenten-Messmethode mit aktivierter Transducerdatei gemäß DVB Measurement Guidelines [2]

4.3.1.2 Nachbarkanalaussendungen

Die Messung der Aussendungen im Bereich einiger MHz in der Umgebung des Kanals kann wieder über Cursor-Messungen oder vollautomatisch über die „Out of Band Emission“ Funktion des R&S®ETLs.

Die Messfunktion „Out Of Band Emission“ unterstützt die Einhaltung aller in der Norm ETSI EN 300 744 definierten Masken (Critical, G-Pal/Nicam, G-Pal/A2, I-Pal/Nicam, K-Secam/K-Pal, L-Secam/Nicam).

Messablauf	
Variante Cursor-Messung	Variante Out Of Band Emission Funktion
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4	
Messablauf gemäß 4.3.1 folgen	
Unter SETUP→Transducer die zuvor erstellte Transducerdatei aktivieren	
Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen	Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MKR→Marker 1: Auf Center	MEAS→Spectrum→OutOfBand Emission
Folgende drei Einstellungen müssen für alle definierten Messpunkte wiederholt werden	Unter MEAS→Spectrum→OutOfBand Emission→Out of Band Emission Setup <ul style="list-style-type: none"> • Mask Type auswählen
MKR→Marker 2: Auf Messpunkt	MEAS→Spectrum→Adjust Attenuation
MKR→More→Marker 3: Auf weiteren Messpunkt	Falls Mittelwertbildung gewünscht: TRACE→Trace Mode: Average TRACE→Sweep Count: 100
Markerdifferenzwerte ablesen, siehe Abb. 4-8, bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	Ergebnisse, siehe Abb. 4-10, mit PRINT ausdrucken
SETUP→Transducer→Active Off: Transducerdatei deaktivieren	

Abb. 4-10: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Spectrum→OutOfBandEmission: Nachbarkanalaussendungen geprüft mit kritischer Maske und mit aktivierter Transducerdatei

4.3.2 Oberwellen

Die Reduktion dieser unerwünschten Außerbandanteile ist die Aufgabe des Oberwellenfilters. Dies ist üblicherweise bereits Bestandteil des Senders. Oberwellenleistungen können mit dem TV Analyzer R&S®ETL in der Betriebsart Spectrum Analyzer gemessen werden. Da das Maskenfilter nur im Nahbereich des Kanals wirkt und daher nicht zur Unterdrückung dieser Oberwellen beiträgt, kann die Messung der Oberwellen direkt am Senderausgang an dessen Mess-Schnittstelle (M1) erfolgen.

Die hohe Dynamik des Signals macht es allerdings erforderlich, durch ein geeignetes Hochpassfilter den eigentlichen Nutzkanal um mindestens 40 dB abzdämpfen. Messbandsperren (= auf den zu unterdrückenden Kanal manuell abstimmbare Topfkreisfilter) eignen sich hier nicht, da sie nicht nur im Nutzband dämpfen, sondern auch bei dessen Vielfachen. Der Frequenzgang des Hochpassfilters ist im Vorfeld mit dem Trackinggenerator zu dokumentieren und dann mittels der Transducerfunktion während der Messung zu berücksichtigen.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
Hochpassfilter vermessen und Ergebnis als Transducerdatei abspeichern, siehe Anhang C
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen und Hochpassfilter am „Auxiliary filter insertion point“ mit einbinden
Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
FREQ→Center: Auf 1,5 GHz einstellen
SPAN→Span Manual: Auf 3 GHz einstellen
Zuvor erstellte Transducerdatei des Hochpassfilters unter SETUP→Transducer aktivieren
Mithilfe der Markerfunktionen MKR→Marker 1 die Bereiche um die Vielfachen der Sendefrequenz untersuchen, siehe Abb. 4-11

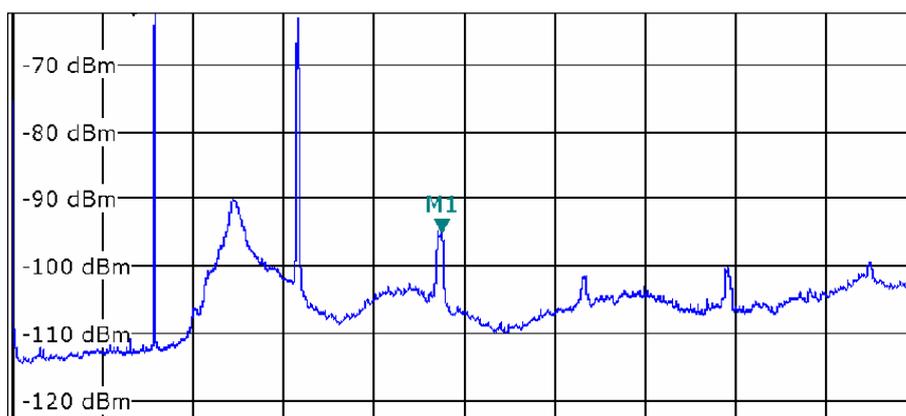


Abb. 4-11: Betriebsart Spektrum Analyzer: Nutzkanal über Hochpass-Filter gedämpft; deutlich sichtbar sind die harmonischen Oberwellen, die mittels Markerfunktion vermessen werden können

4.4 Signalqualität

4.4.1 L1-Pre- und Post-Signalling

Wie auch bei DVB-T werden bei DVB-T2 die aktuell gewählten Übertragungsparameter signalisiert. Die Rahmenstruktur bei DVB-T2 (DVB-T2-Frame) beginnt mit einem P1-Symbol, gefolgt von einem oder mehreren P2-Symbolen. Anschließend folgen die eigentlichen Datensymbole, also die Nutzdaten der PLPs. In den P2-Symbolen werden die L1-Signalisierungsdaten für den Empfänger übertragen.

Die L1-Pre-Signalling Daten sind fest BPSK-moduliert und mit einem konstanten Fehlerschutz geschützt. Für die L1-Post-Signalling Daten können verschiedene Übertragungsparameter verwendet werden. In den L1-Pre-Signalling Daten werden deshalb die Übertragungsparameter der L1-Post-Signalling Daten übertragen.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Overview→L1 Analysis→L1-pre Signalling
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
Messbildschirm, siehe Abb. 4-12, mit PRINT ausdrucken
MEAS→Overview→L1 Analysis→L1-post Signalling
Messbildschirm, siehe Abb. 4-13, mit PRINT ausdrucken

Ch: --- RF 538.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -10.00 dBm

Level -2.6 dBm

L1-pre signalling			
Bandwidth Extension	On	S1 (binary)	000
Guard Interval	1/128	S2 (binary)	111 0
Pilot Pattern	PP7	System ID (hex)	0x0
Transmission System	SISO	Cell ID (hex)	0x0
Data Symbols/Frame	41	Network ID (hex)	0x0
L1-post Constellation	64 QAM	Frames/Superframe	2
L1-post Size	250	Tx ID Availability (hex)	0x0
L1-post Extension	Off	L1-post Info Size	318
L1 Repetition	Off	Regeneration Flag	0
L1-post Code Rate	1/2	Frequencies	1
L1-post FEC Type	Short	RF Index	0
PAPR	None	CRC32 (hex)	0x285DA7E9
Stream Type	TS only	Reserved (hex)	0x0
T2 Version	1.1.1	L1-post Scrambled	Reserved
		T2-base Lite	Reserved

Lvl -2.6dBm | BER 0.0e-10 | MER 35.7dB DEMOD PLP:0

Abb. 4-12: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview→L1 Analysis→L1-pre Signalling: Darstellung der Pre-Signalling-Daten des P2-Symbols

Ch: --- RF 538.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -10.00 dBm

Level -2.6 dBm

PLP-Overview	Number of PLP		1	Sub-Slices/Frame		1
#	1	2	3	4	5	6
PLP ID	0	---	---	---	---	---

PLP Data (Decoded PLP ID 0)			
PLP Constellation	64 QAM	Num Blocks Max	105
PLP Rotation	On	Static Flag	Off
PLP FEC Type	Normal	Static Padding Flag	Off
PLP Code Rate	2/3	Fixed Freq Flag	Off
PLP Type	Type 1	PLP Group ID	1
PLP Payload Type	TS	First RF Index	0
Time Intlv Type	Single	In Band A Signalling	Off
Time Intlv Length	3	In Band B Signalling	Off
First Frame Index	0	Reserved_1 (hex)	0x000
Frame Interval	1	PLP Mode	Not specified

Lvl -2.6dBm | BER 0.0e-10 | MER 35.8dB DEMOD PLP:0

Abb. 4-13: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview→L1 Analysis→L1-post Signalling: Darstellung der Post-Signalling-Daten des P2-Symbols

4.4.2 Frequenzgenauigkeit

Die Genauigkeit der Messung der Frequenzabweichung ist von der letzten Kalibrierung des Messgerätes abhängig. Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass zur Messung mit einer Genauigkeit $> 10^{-5}$ eine externe Referenz verwendet werden muss.

Speziell im Gleichwellennetzbetrieb („Single Frequency Network“ - SFN) werden sehr hohe Anforderungen an die Frequenzgenauigkeit eines DVB-T2 Senders von kleiner 10^{-9} gestellt. Die Messung erfolgt mit dem R&S®ETL in der Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“ am Ausgang des Senders an dessen Mess-Schnittstelle (M1).

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Overview
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
Carrier Frequency Offset notieren, siehe Abb. 4-14

Ch: --- RF 538.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl 0.00 dBm

Carr Freq Offset 100.0 mHz

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit	
	Level	-60.0		-2.7		10.0	dBm	
	Sideband			normal				
	FFT Mode			32k ext				
	Guard Interval			1/128				
Ext	Carrier Freq Offset	-30000.0		0.1		30000.0	Hz	
	Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm	
	MER (L1,rms)	24.0		35.4		-----	dB	
OLim	PLP Data (Decoded PLP ID 0)							
	MER (PLP,rms)	24.0		35.8		-----	dB	
	BER before LDPC			0.0e-11(10%/1e12)		1.0e-2		
	LDPC Iterations			1.00				
	BER before BCH			0.0e-10(68%/1e11)		1.0e-5		
	BBFRAME Error Ratio			0.0e-6(15%/1e7)		1.0e-10		
	Errored Second Ratio			0% (20/20)		10	%	
	TS Packet Error Ratio			n/a (HEM)		1.0e-7		

Lvl -2.7dBm | BER 0.0e-10 | MER 35.8dB DEMOD PLP: 0

Abb. 4-14: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: Frequenzgenauigkeit in der 5ten Zeile der Tabelle, sowie gezoomt (MEAS→Overview→More→Zoom) ablesbar

4.4.3 Modulation Error Ratio

Das Modulation Error Ratio (MER) ist der wichtigste Qualitätsparameter eines DVB-T2 Senders. Es ist ein Summenparameter für die Erfassung aller Störprodukte die auf ein digitales TV-Signal einwirken. Es wird die Abweichung der Punkte des Konstellationsdiagramm von ihrer theoretischen Position erfasst. Dies ermöglicht eine quantitative Beurteilung der Signalqualität. Das MER wird üblicherweise als logarithmisches Verhältnis des Effektivwertes der Signalamplitude und des Fehlervektors in dB ausgedrückt angegeben:

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

Ein hohes MER drückt eine gute Signalqualität aus. In der Praxis kommen bei der terrestrischen Übertragung MER Werten von wenigen dB bis ca. 35 dB vor. Ein guter DVB-T2 Sender weist ein MER im Bereich von etwa 35 dB auf. Technisch wäre ein größerer MER Wert möglich, aus Energieeffizienzgründen wird dies aber nicht weiter optimiert. Die Grenze bis zu welchem MER Wert das Signal dekodiert werden kann, ist abhängig von Modulationsordnung, der Coderate und dem Empfänger. Bei einer Coderate von $\frac{1}{2}$ und der Modulationsordnung von 256QAM bzw. 64QAM dekodiert der R&S®ETL das Signal bis ca. 15,5 dB bzw. 11 dB MER. Allgemein kann man davon ausgehen, dass DVB-T2 Signale über eine Dachantenne mit Gewinn, an der Antennendose einen MER von 18 dB bis 30 dB aufweisen. Beim portablen Empfang mit Zimmerantenne kann man von Werten zwischen 12 dB bis 20 dB ausgehen.

Bei DVB-T2 wird zwischen dem MER L1 und dem MER der einzelnen PLPs unterschieden. Bei guter Signalqualität sind die MER Werte gleich. Damit eine größere Datenbasis verwendet wird, wird normalerweise das MER der PLPs überprüft. Bei sehr schlechter Signalqualität ist es jedoch besser, das MER L1 als Grundlage zu verwenden, da ansonsten die häufigeren Grenzwertüberschreitungen (Zuordnung zu den einzelnen Entscheidungsfeldern) zu einem vermeidlich besseren MER führen.

Wird zur Crest-Faktor Reduzierung ACE verwendet, verschlechtert sich der gemessene MER Wert, da die äußersten Konstellationspunkte nach außen verschoben werden. Der reduzierte MER Wert bedeutet also nicht eine schlechtere Signalqualität. Um dies zu analysieren, wird das Konstellationsdiagramm (siehe 4.4.4) verwendet.

Das MER kann als gemittelter Wert über alle COFDM Unterträger angegeben werden oder als MER(f) als Graph über den DVB-T2 Kanal.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→MER(f)
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
SPAN→Full Span
Messbildschirm, siehe Abb. 4-15, mit PRINT ausdrucken

Technisch bedingt kann bei Sendern mit erhöhtem Wirkungsgrad nach dem Entzerrer der MER(f) eine leichte Krümmung aufweisen.

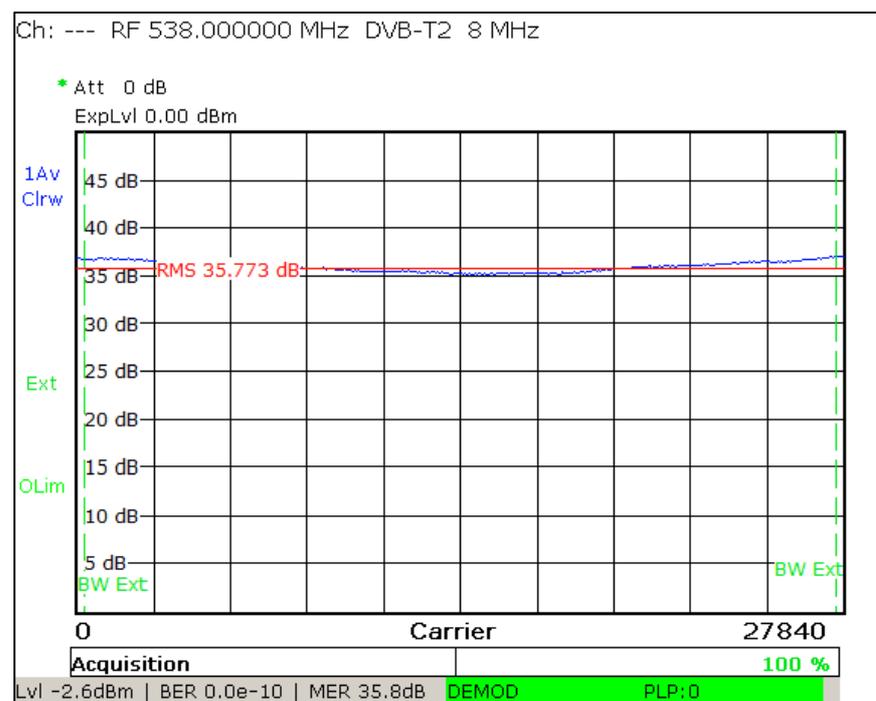


Abb. 4-15: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→MER(f): MER als Funktion der Frequenz, sowie Einblendung des über den Kanal gemittelten MER's (RMS)

4.4.4 Konstellationsdiagramm

Das Konstellationsdiagramm ermöglicht es, die bei Quadraturmodulation in diskreten Zeitintervallen auftretenden Signalzustände gleichzeitig darzustellen. Das Konstellationsdiagramm ist die grafische Darstellung der Phasengleichen- und Quadraturkomponente des QAM-Signals in X und Y Achse. Im Falle von Mehrträgermodulation wird im Konstellationsdiagramm typischerweise die Summe der Signalzustände aller Träger geformt. Ein rauschendes oder gestörtes DVB-T2 Signal wird einen wolkenähnlichen Effekt aufweisen. Je kleiner die resultierenden Punkte im Konstellationsdiagramm desto besser ist die Signalqualität. Bei Messungen direkt am Sender sollten im Konstellationsdiagramm nur kleine Punkte sichtbar sein.

Für DVB-T2 gibt es vier mögliche Konstellationsordnungen: QPSK, 16QAM, 64QAM und 256QAM. Um auch im gestörten Empfangsfall eine bessere Decodierbarkeit zu ermöglichen, verwendet DVB-T2 gedrehte Konstellationsdiagramme (Rotated Constellation Diagram) in Verbindung mit Q-Shift. Q-Shift bedeutet, dass der I- und der Q-Anteil eines I/Q-Samples auf unterschiedlichen Trägern übertragen werden.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→Const Diagram→Const Select: I/Q Source auswählen z.B. PLP Cells before Derotation, siehe Abb. 4-16
Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
SPAN→Full Span
Konstellationsdiagramm, siehe Abb. 4-17, mit PRINT ausdrucken

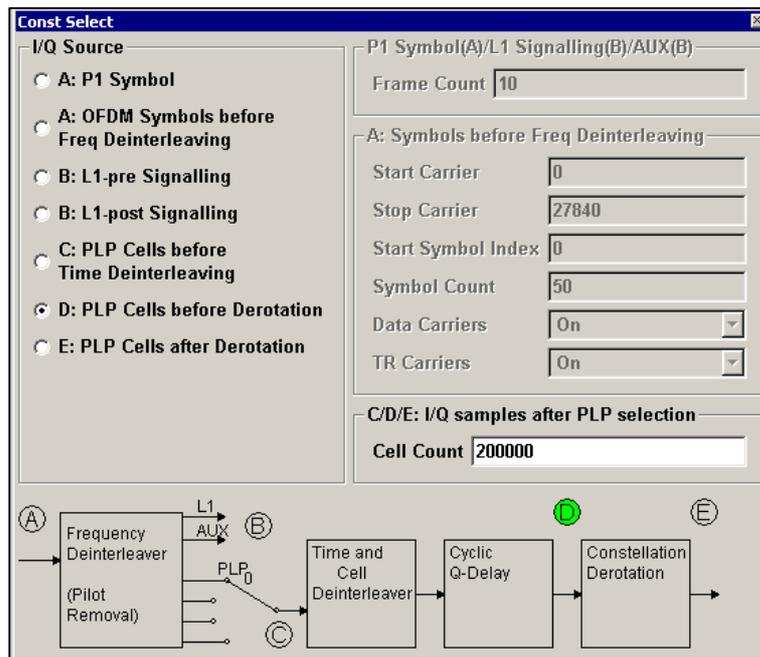


Abb. 4-16: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→Const Diagram→Const Select: I/Q Source Auswahl für DVB-T2 Konstellationsdiagramm

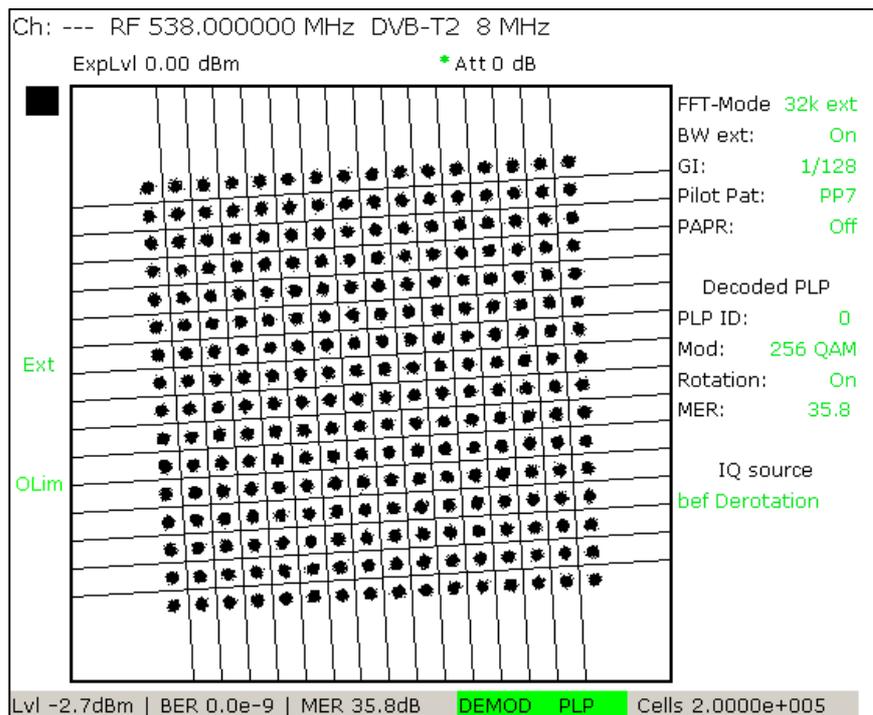


Abb. 4-17: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→Const Diagram: DVB-T2 Konstellationsdiagramm (256QAM) vor Derotation mit ca. 36 dB MER

4.4.5 Bitfehlerverhältnisse

Bei DVB-T2 wird eine Kombination aus BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem-code) und LDPC (Low Density Parity Check) eingesetzt. Bei LDPC handelt es sich um ein iteratives Blockcodeverfahren, welches iterativ die Anzahl der fehlerhaften Bits reduziert. Der Übergang an dem das empfangene und korrigierte Signal fehlerfrei ist und dem Punkt an dem das Signal nicht mehr rekonstruiert werden kann (fall-of-the-cliff-effect) ist sehr scharf (innerhalb von wenigen Zehntel-dBs – typisch ca. 0,2 dB). Mit LDPC werden Datenraten nahe der maximalen Kanalkapazität (Shannon Limit) erreicht. Die maximale Anzahl der Fehler die pro Paket durch LDPC korrigiert werden sind natürlich beschränkt. Je mehr Zeit dem LDPC Algorithmus zugestanden wird, desto mehr Iterationen können durchlaufen werden und desto mehr Fehler können korrigiert werden. Der LDPC Algorithmus stoppt sobald alle Fehler korrigiert wurden. Die Anzahl der benötigten Iterationen um alle Fehler zu korrigieren gibt eine Bewertungstendenz für die Signalqualität. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass Anzahl der Iterationen implementierungsabhängig ist und deshalb Werte die mit unterschiedlichen Empfängern gemessen wurden nicht verglichen werden können.

BCH ist in der Lage mögliche Restfehler die durch das LDPC-Prinzip bedingt auftreten können zu korrigieren.

Es ergeben sich folgende Messparameter bei DVB-T2:

- Bitfehlerverhältnis vor LDPC („BER before LDPC“)
- Bitfehlerverhältnis nach LDPC = Bitfehlerverhältnis vor BCH („BER before BCH“)
- BBFRAME Error Ratio: gibt an, wie viele Frames nicht korrigiert werden konnten
- Errored Second Ratio: gibt in Prozent an, in wie vielen Sekunden der letzten 20 Sekunden mindestens ein BBFRAME Error aufgetreten ist

Die FEC erfordert natürlich einen bestimmten Datenoverhead und verringert hierdurch die Nettodatenrate. Um den Overhead zur Fehlerkorrektur möglichst gering zu halten und zugleich möglichst Fehlerresistent zu sein, wird vor der FEC ein Baseband Scrambling durchgeführt und im Anschluss an die FEC eine Codespreizung (= Bit-Interleaving) durchgeführt. Dies führt dazu, dass Bitfehler möglichst gleich verteilt sind. Hierzu werden die Datenbits so ineinander verschachtelt, dass zusammengehörige Daten mit ihrem Fehlerschutz bei der Übertragung nicht mehr zusammenhängend übertragen werden. Dies hat den Hintergrund, dass meistens Störungen entweder nur ein schmaler Frequenzbereich betreffen oder nur sehr kurz auftreten (Burst-Fehler).

Für die verschiedenen PLPs wird die BER separat gemessen, da für jede PLP eine andere Coderate und ein andere Modulationsordnung gewählt werden kann.

Alle Störeinflüsse einer DVB-T2 Übertragungsstrecke bilden sich in den Bitfehlerverhältnissen ab. Bei einem funktionierenden DVB-T2 Sender kann nur die BER before LDPC verschieden von Null sein. Diese wird im Bereich von 10^{-9} oder kleiner liegen. Bei kleinen Bitfehlerverhältnissen ist es notwendig, entsprechend lange Messzeiten zu wählen. Diese liegen bei Abnahmemessungen im Bereich von Stunden, bei Kontrollmessungen im Bereich von Minuten.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
MEAS→Overview
Grundkonfiguration und Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MEAS→Overview→Decoded PLP Man: Zu überprüfende PLP auswählen
MEAS→Measure Log→Configure Dialog aufrufen, siehe Abb. 4-18: <ul style="list-style-type: none"> • Enable Measurement Log aktivieren • Time Span entsprechend der Messdauer auswählen Auswahl der darzustellenden Messparameter ¹ <ul style="list-style-type: none"> • Trace 1: BER before LDPC auswählen • Trace 2: BER before BCH auswählen
MEAS→Measure Log→Clear
Messzeit von einigen Minuten bis einigen Stunden abwarten
Gültigkeit der Messung kontrollieren: Es darf keine schwerwiegende Signalstörung in Form eines Synchronisationsverlusts aufgetreten sein, siehe Abb. 4-19.
Falls Messung gültig: MEAS→Measure Log→Auto Range
Falls Messung gültig: Max-Wert dokumentieren und falls gewünscht, Ergebnisse mit PRINT ausdrucken, siehe Abb. 4-20.
Messvorgang für alle PLPs wiederholen



Abb. 4-18: Betriebsart, „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Measure Log→Configure: Konfiguration für die Bitfehlerratenmessung

¹ Die Messung dokumentiert alle verfügbaren Messparameter, stellt aber maximal zwei Kurvenverläufe dar. Die Messwerte können über MEAS→Measure Log→Export in eine csv-Datei geschrieben werden.

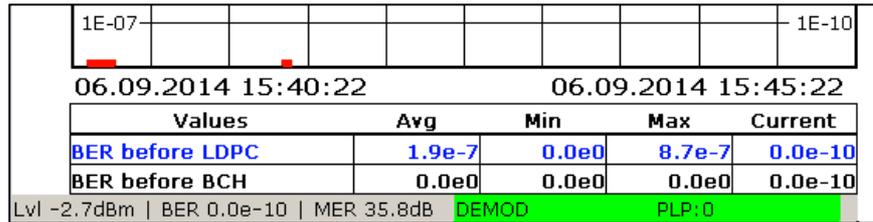


Abb. 4-19: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Measure Log: Bitfehlerratenmessung mit dem Measurement Log. Rote Markierungen direkt oberhalb der Zeitachse (hier im ersten und dritten Zehntel) signalisieren einen Synchronisationsverlust. In diesem Fall ist die Bitfehlerratenmessung ungültig.

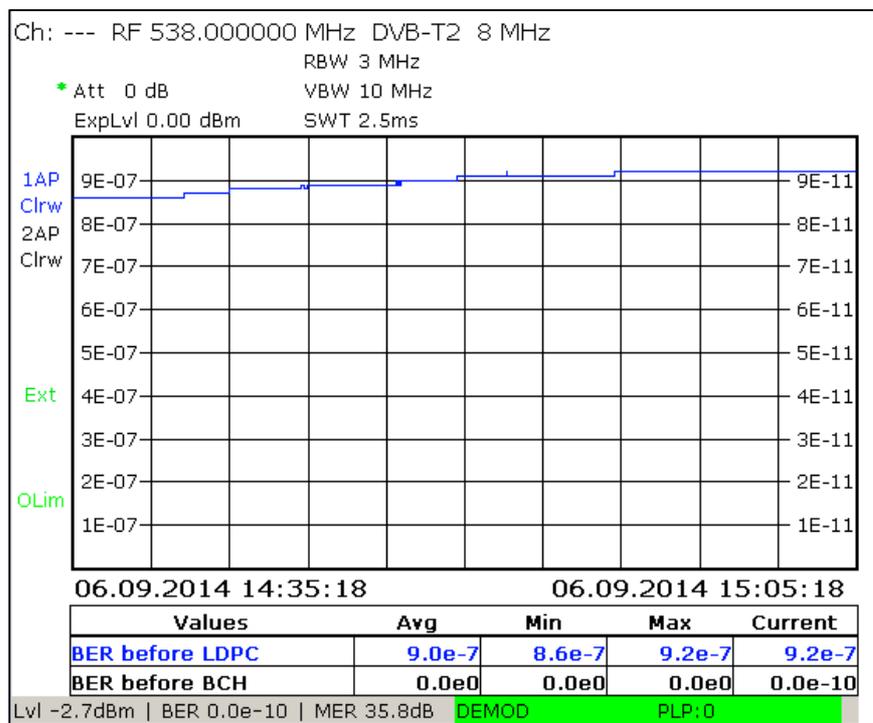


Abb. 4-20: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Measure Log: Gültige Bitfehlerratenmessung

5 Abkürzungen

ACE	Active constellation extension
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem-code
BER	Bit error ratio
BICM	Bit-interleaved coding and modulation
CCDF	Complementary cumulative distribution function
CF	Crest factor
COFDM	Coded orthogonal frequency division multiplex
DVB-T	Digital video broadcasting – Terrestrial
DVB-T2	Digital video broadcasting – Terrestrial second generation
FEF	Future extension frames
FFT	Fast fourier transform
GCS	Generic continuous stream
GFPS	Generic fixed packetized stream
GI	Guard interval
GSE	Generic stream encapsulation
ISSY	Input stream synchronizer
LDPC	Low density parity check
MER	Modulation error ratio
NPD	Null packet deletion
OFDM	Orthogonal frequency division multiplex
PAPR	Peak to average power ratio
PEP	Peak envelope power
PLP	Physical layer pipe
QAM	Quadrature amplitude modulation
RS	Reed solomon
SFN	Single frequency network
T2-MI	DVB-T2 modulator interface
TPS	Transmission parameter signaling
TR	Tone reservation
TS	Transport stream

6 Literatur

- [1] „Digital Video and Audio Broadcasting Technology“,
Walter Fischer, Springer Verlag, 2010,
ISBN: 978-3-642-11611-7
- [2] „Measurement guidelines for DVB systems“,
ETSI TR 101 290
- [3] Application Note 7TS02
- [4] „Ermittlung der CCDF – Zwei Messmethoden im Vergleich“,
Christoph Balz, Neues von Rohde & Schwarz, Heft 172 (2001/III), S. 52 – 53

7 Zusatzinformation

Unsere Applikationsschriften werden von Zeit zu Zeit überarbeitet, und auf den neuesten Stand gebracht. Bitte überprüfen Sie unter <http://www.rohde-schwarz.com> etwaige Änderungen.

Kommentare und Anregungen im Zusammenhang mit dieser Applikationsschrift bitte an:

Broadcasting-TM-Applications@rohde-schwarz.com.

8 Bestellangaben

8.1 R&S®ETL & Power Sensor

Bestellbezeichnung	Typ	Bestellnr.
Gerät		
TV Analysator, 500 kHz to 3 GHz, mit Mitlaufgenerator	R&S®ETL	2112.0004.13
Average Power Sensor; 9 kHz to 6 GHz, 200 mW	R&S®NRP-Z91	1168.8004.02
Benötigte Optionen		
Eine der folgenden drei Power Sensor Schnittstellen		
Zusätzliche Schnittstellen	R&S®FSL-B5	1300.6108.02
Aktiver USB Adapter	R&S®NRP-Z3	1146.7005.02
Passiver USB Adapter	R&S®NRP-Z4	1146.8001.02
Leistungsmesskopfmessungen mit NRP	R&S®FSL-K9	1301.9530.02
DVB-T2 Firmware	R&S®ETL-K340	2112.0527.02
Measurement Log für DTV	R&S®ETL-K208	2112.0579.02
Notwendige Hardwareoption für DVB-T2		
FPGA Extension Board	R&S®ETL-B300	2112.0385.02
ODER		
FPGA Extension Board, High SNR FM	R&S®ETL-B310	2112.0340.02
RF Preslector	R&S ETL-B203 model .03	2112.0327.03
Empfohlene Optionen		
Zur MPEG2-TS Erzeugung:		
Festplatte 80 GByte (ab SN 101500 Bestandteil des Grundgerätes)	R&S®ETL-B209	2112.0291.02
MPEG Processing Board	R&S®ETL-B280	2112.0362.02
MPEG TS Generator/ Recorder	R&S®ETL-K280	2112.0591.02
Gleichwellennetzabgleich		
DVB-T2 Frequency Offset	R&S®ETL-K341	2115.1682.02
Bilddarstellung		
Video und Audio HW Decoder	R&S®ETL-B281	2112.0356.02
HDTV und Dolby Upgrade	R&S®ETL-K281	2112.0604.02
MPEG-Analyse		
MPEG Analysis / Monitoring	R&S®ETL-K282	2112.0610.02
In-Depth Analyse	R&S®ETL-K283	2112.0627.02
Data Broadcast Analyse	R&S®ETL-K284	2112.0633.02
DVB T2-MI Extension	R&S®ETL-K382	2115.1701.02

8.2 R&S®ETC

Bestellbezeichnung	Typ	Order-No.
Gerät		
Compact TV Analyzer, up to 3.6 GHz	R&S®ETC	2116.5000.04
Compact TV Analyzer, up to 8 GHz		2116.5000.08
FPGA Extension Board	R&S®ETC-B300	2116.5230.02
Benötigte Optionen		
DVB-T2 Analysis	R&S®ETC-K240	2116.5123.02
Software Application Tool		
Automatic Transmitter Measurement, TxCheck	R&S®ETC-K940	2116.5152.02

Anhang

A Transportstromgenerierung mit R&S®ETL

Der MPEG TS Generator / Recorder des R&S®ETLs gibt einen DVB-konformen MPEG-2 TS oder einen konformen T2-MI Strom aus. Mit einem 75 Ω Kabel wird der am TS ASI OUT Ausgang (Rückseite des R&S®ETLs) ausgegebene Strom dem Sender zugeführt. Für DVB steht eine Fülle von Transportstromdateien zur Verfügung (z.B. „Diver.gts“), die unterbrechungsfrei in einer Endlosschleife abgespielt werden können. Folgende Einstellungen müssen hierzu am R&S®ETL vorgenommen werden:

TS Generator Einstellungen	
MODE	→TS Generator / Recorder
MEAS	→TS Generator→Source: Gewünschten TS wählen (siehe Abb. 8-1)
MEAS	→TS Generator→Start

The screenshot shows a progress bar at the top with a blue fill, indicating playback progress. Below the bar, the time 00:00:00 is shown on the left and 00:23:04 on the right. Below the time display are two tables.

Play Source	Playing	TS Data Rate
DIVER.GTS	00:12:86	5.097 MBit/s

Source	d:\TsGen\SDTV\DVB_25Hz\720_576i\LIVE\DIVER.GTS
File Date / Size	2006-05-24 / 13671435 Bytes
Orig. Loop Time	23.040 s
TS Data Rate	5.097 MBit/s
Play Window Start	00:00:00
Play Window Stop	00:23:04

Abb. 8-1: Betriebsart TS Generator: Generierung eines Transportstroms

B Messunsicherheit der rücklaufenden Leistung

Bei skalarer Messung von rücklaufender Leistung kommt es, aufgrund der Direktivität von Messkopplern, zu einer Messunsicherheit. Die Direktivität ist eine Kenngröße für das ungewollte Übersprechen der vorlaufenden Leistung auf die zu messende rücklaufende Leistung. Je besser die Direktivität, desto geringer ist das ungewollte Übersprechen der vorlaufenden Leistung. Eine typische Direktivität von Richtkopplern ist ca. -35 dB.

Um rücklaufende Leistung exakt zu messen, muss die Phase der sich überlagernden Signale bekannt sein. Dies ist nur bei einer vektoriellen Leistungsmessung möglich. Doch auch mit der skalaren Messung des R&S®ETLs kann die notwendige Überprüfung durchgeführt werden. Statt des genauen Messwertes für die rücklaufende Leistung wird sichergestellt, dass die rücklaufende Leistung so gering ist, dass der Selbstschutz der Senderanlage die Anlage nicht abschaltet. Diese Aussage kann mit der skalaren Messung getroffen werden, wenn das Verhältnis zwischen der Direktivität des Messrichtkopplers und der maximal zulässigen rücklaufenden Leistung groß genug ist.

Bei der skalaren Messung der rücklaufenden Leistung liegt der theoretische Messfehler im ungünstigsten Fall zwischen ca. $+6$ dB bis $-\infty$ dB, siehe Abb. 8-2. Die skalar gemessene rücklaufende Leistung kann also bis zu 6 dB zu groß oder viel zu klein sein. Die Messunsicherheit ist abhängig von der Einfügungsdämpfung, der Direktivität und der rücklaufenden Leistung. Zur Vereinfachung soll in nachfolgender Betrachtung die Einfügungsdämpfung vernachlässigt werden, da deren Einfluss in der Praxis gering ist.

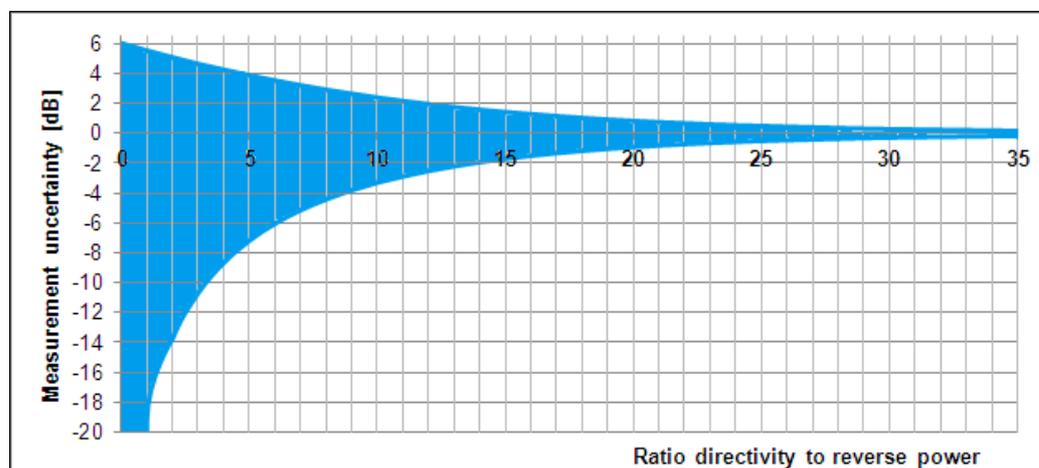


Abb. 8-2: Messunsicherheit der skalaren Messung, abhängig vom Verhältnis Direktivität des Messrichtkopplers zur rücklaufenden Leistung (Einfügungsdämpfung des Richtkopplers vernachlässigt)

Als erstes Beispiel soll angenommen werden, dass das Verhältnis von Direktivität des Messrichtkopplers und rücklaufender Leistung 0 dB beträgt (ungünstigster Fall). In diesem Fall ist der theoretische maximale Messfehler zwischen +6 dB und $-\infty$ dB. Solange jedoch auch ein 6 dB höherer Wert akzeptiert werden kann, ist der tatsächliche Wert nicht zwingend erforderlich.

Als weiteres Beispiel soll angenommen werden, dass der Unterschied zwischen Direktivität des Messrichtkopplers und der rücklaufenden Leistung 20 dB ist. Hierbei ist der theoretische maximale Messfehler zwischen 0,83 dB und $-0,92$ dB. Ist die ausgekoppelte rücklaufende Leistung also z.B. -15 dBm und die Direktivität des Richtkopplers -35 dB, kann es am Messgerät zu Werten zwischen $-14,17$ dBm und $-15,92$ dBm kommen. Die Messunsicherheit bewegt sich in diesem Fall in einem Bereich von ± 1 dB. Der kritische Fall einer großen rücklaufenden Leistung wird also auch mit skalarer Messung erkannt.

Nachfolgendes Diagramm (Abb. 8-3) ermöglicht es, die maximale mögliche tatsächliche rücklaufende Leistung abhängig vom angezeigten Messwert zu ermitteln.

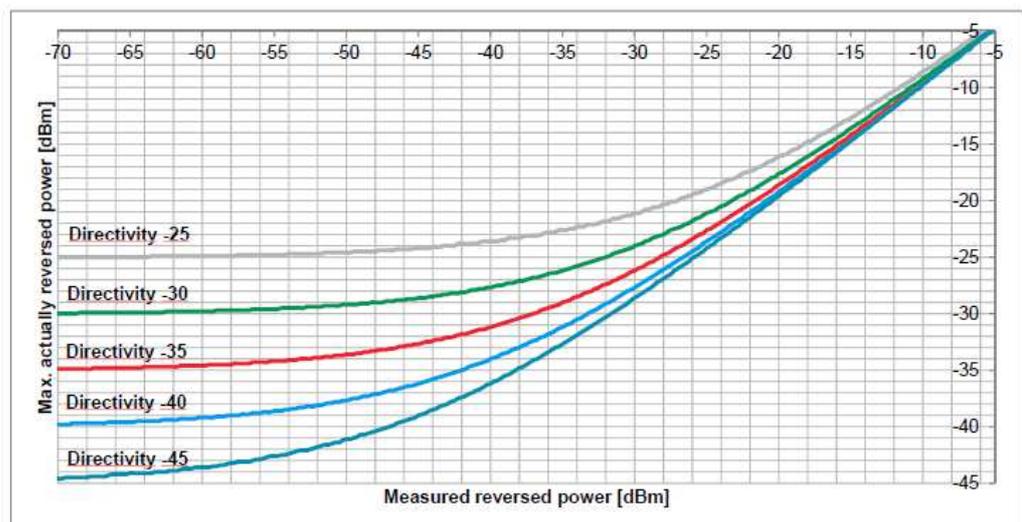


Abb. 8-3: Maximal tatsächlich rücklaufende Leistung abhängig von der gemessenen rücklaufenden Leistung

Als Ergebnis kann zusammengefasst werden, dass eine skalare Messung ausreichend ist, solange die maximal tatsächlich rücklaufende Leistung, die sich aus einer gemessenen Leistung ergibt, auch akzeptabel ist.

C Filterfrequenzgang-Erfassung in Transducerdatei

Zur Vermessung von Signalen, die den Dynamikumfang von Spektrumanalysatoren übersteigen, gibt es in der Praxis zwei gängige Varianten:

- Variante 1: Die Frequenzkomponenten mit der höchsten Leistung werden durch Hilfsmittel wie abstimmbare Messbandsperre oder eines Hochpassfilters selektiv gedämpft. Hierbei wird die Dynamik so weit reduziert, dass diese nach dem Hilfsmittel gemessen werden kann. Zur automatischen Anzeige der tatsächlichen Dynamik wird durch eine Transducerdatei dabei der vorherig separat vermessene Frequenzgang des Hilfsmittels mathematisch durch Subtraktion kompensiert.
- Variante 2: Falls die hohe Signaldynamik durch ein bestimmtes Filter erzielt wird (z.B. am Maskenfilter eines Senders), sind Hilfsmittel nicht zwingend erforderlich. Stattdessen kann auch zunächst der Frequenzgang dieses Filters separat als Transducerdatei aufgenommen werden. Die Aktivierung dieser Transducerdatei während der Messung vor dem Filter führt durch Addition des Filterfrequenzgangs zur automatischen Berechnung der tatsächlichen Dynamik.

Die Transducerdatei kann direkt mit der Tracking Generator Funktion des R&S®ETL erstellt werden, falls der Frequenzgang des Filters nicht die messbare Dynamik überschreitet¹¹:

Transducer Datei erzeugen
MODE→Spectrum Analyzer
FREQ→Center: Auf Kanalmittemfrequenz einstellen
SPAN→Span Manual: Auf 30 MHz einstellen
TRACE→Detector Manual Select→More→Detector Average
BW→Res BW Manual: Auf 30 kHz einstellen
SWEEP→Sweeptime Manual: Auf 2 s einstellen
MENU→Tracking Generator→Source On
MENU→Tracking Generator→Source Power auf 0 dBm einstellen
Kabel die zur Vermessung verwendet werden sollen, von R&S®ETL Ausgang „Gen Out 50 Ω“ zu R&S®ETL Eingang „RF IN 50 Ω“ verbinden, siehe Abb. 8-4
AMPT→Ref Level: Auf -30 dBm einstellen

¹¹ Ansonsten kann der Frequenzgang aus dem Datenblatt auch von Hand in die Transducerdatei eingegeben werden (SETUP→Transducer)

Transducer Datei erzeugen	
R&S®ETL mit Preselector ¹²	R&S®ETL ohne Preselector
AMPT→RF Atten Manual: Auf 15 dB einstellen	AMPT→RF Atten Manual: Auf 0 dB einstellen
Falls es zur Übersteuerung kommt ¹³ , Dämpfung AMPT→RF Atten Manual um 5 dB erhöhen.	
MENU→Tracking Generator→Source Cal→Cal Trans	
MENU→Tracking Generator→Source Cal→Normalize	
Das zu vermessende Filter mit den zuvor vermessenen Kabeln, von R&S®ETL Ausgang „Gen Out 50 Ω“ zu R&S®ETL Eingang „RF IN 50 Ω“ verbinden, siehe Abb. 8-5	
Variante 1 (Dynamik Reduktion durch Hilfsmittel)	Variante 2 (Vermessung vor Dynamik Erhöhung)
MENU→Tracking Generator→Source Cal→More→Save As Neg Trd Factor	MENU→Tracking Generator→Source Cal→More→Save As Pos Trd Factor
Dateiname eingeben und Transducer Datei abspeichern	
Über SETUP→Transducer→Active On kann die Transducerdatei aktiviert werden	



Abb. 8-4: Verkabelung um Kabel zu normalisieren



Abb. 8-5: Verkabelung zum Vermessen des Frequenzgangs eines Maskfilters

¹² Wenn ein Preselector im Gerät verfügbar ist, ist unter AMPT→More die Einstellung Preselector verfügbar. Der Preselector ist standardmäßig eingeschaltet.

¹³ Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovld“.

D Automatisierte Messungen mit R&S®TxCheck

Die Software R&S®TxCheck ist auf jedem R&S®ETL kostenlos verfügbar¹⁴ und bietet den automatisierten Ablauf von Messungen inklusive der Erzeugung eines gewichteten Reports der Ergebnisse.

Bestandteil dieser Application Note ist das TxCheck-Profil „7BM106.ETLtxi“. Wird dieses in R&S®TxCheck geöffnet, so wird die Software zur Durchführung der folgenden Messungen am Sender:

- Senderausgangspegel (4.1.1, Variante „TV/Radio Analyzer/Receiver“)
- Crest-Faktor (4.1.2, Crest-Faktor des begrenzten Signals)
- I/Q-Fehler (4.2.1)
- Amplitudengang und Gruppenlaufzeit (4.2.2)
- L1-Pre- und Post-Signalling (4.4.1)
- Frequenzgenauigkeit (4.4.2)
- Modulation Error Ratio (4.4.3)
- Konstellationsdiagramm (4.4.4)

Einmaliges konfigurieren von TxCheck
Kopieren der 7BM106.ETLtxi auf den R&S®ETL
MODE→TxCheck
Im R&S®TxCheck Menü „File/Open Profile (*.ini)“ das zuvor kopierte Profile „7BM106.ETLtxi“ auswählen
In der Registerlasche „Settings“ Frequenz und Bandbreite anpassen, siehe Abb. 8-6
In der Registerlasche „Measurements“ gegebenenfalls die Grenzen für die einzelnen Messparameter anpassen und bei Bedarf Messparameter hinzufügen/entfernen.
Das erzeugte Profile über „File/Save Profile (*.ini)“ abspeichern

¹⁴ Die Software kann auch auf einem externen PC ausgeführt werden, mehr Informationen im TxCheck Menü „Help→Installation Info...“

Messung mit TxCheck ausführen
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 3.4
R&S®ETL (IN1) falls verfügbar an die Mess-Schnittstelle (M4) der Antennenweiche oder ansonsten an (M3) nach dem Maskenfilter anschließen
MODE→TxCheck
Über das Menü „File/Open Profile (*.ini)“ das vorbereitete Profile öffnen
Über den Bedienknopf „Write Settings to ETL“ Konfiguration durchführen
MODE→TV/Radio Analyzer/Receiver
Manuelle Pegelung „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 3.5 vornehmen
MODE→TxCheck
Über das Menü „Measurement→Start Measurement“ die Messung starten, siehe Abb. 8-7
Nach Abschluss der Messungen die Ergebnisse über das Menü „File/Save“ abspeichern und bei Bedarf über das Menü „File/Export (*.csv) ...“ exportieren

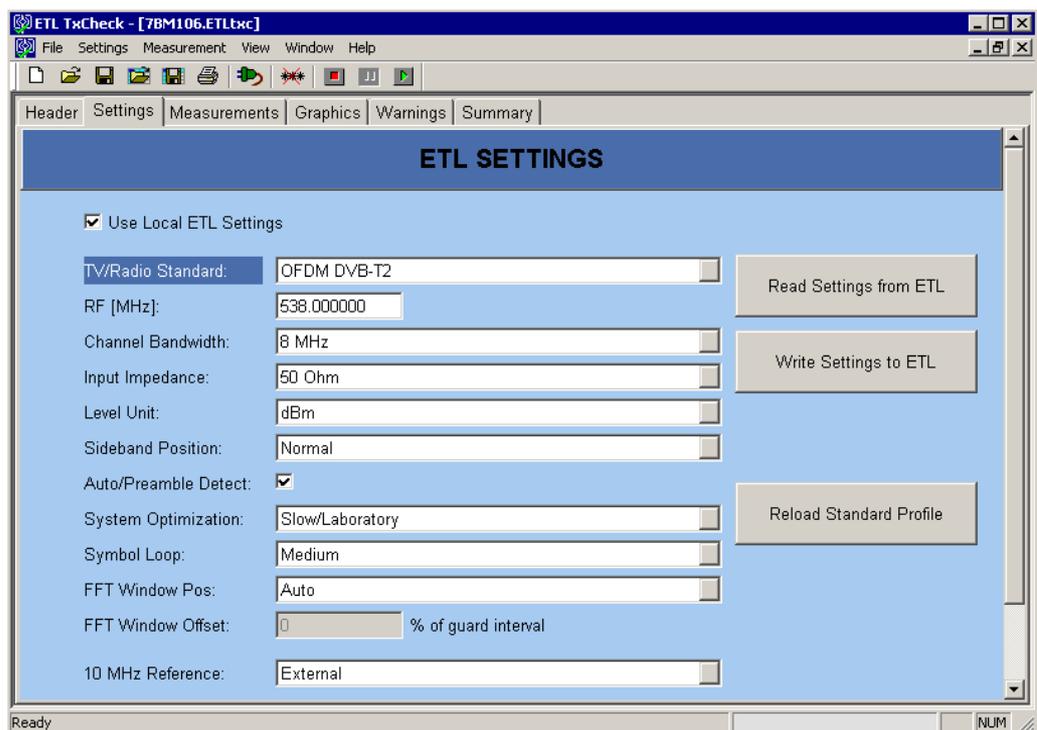


Abb. 8-6: R&S®TxCheck User Interface, Registerlasche „Settings“

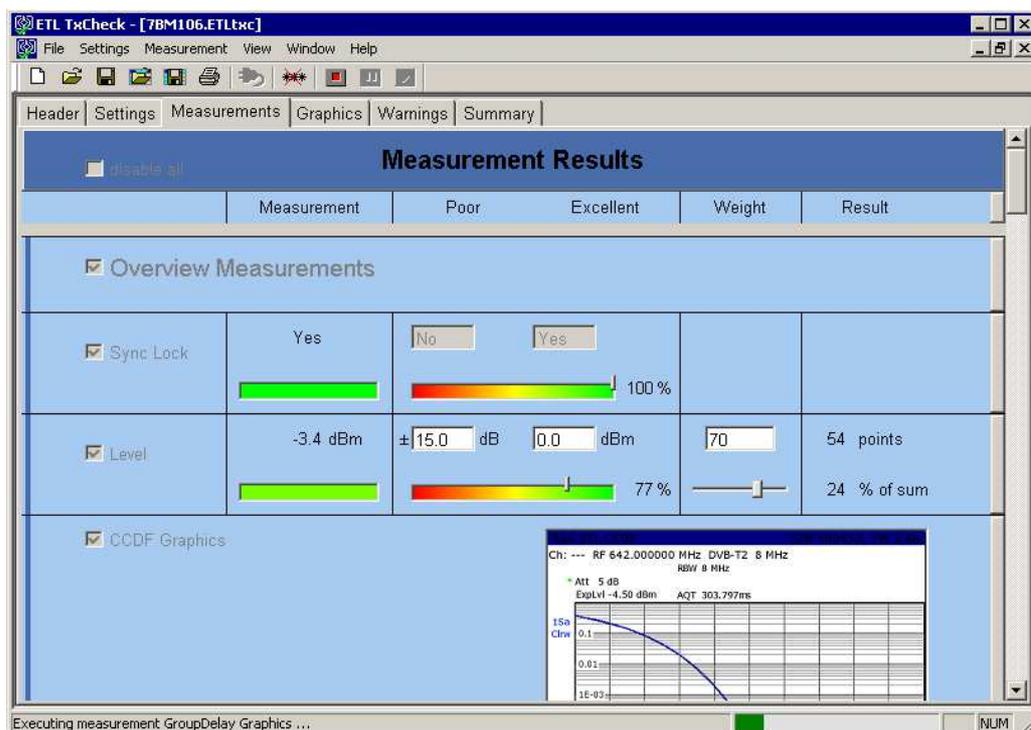


Abb. 8-7: R&S®TxCheck User Interface, Registerlasche „Measurements“

About Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz is an independent group of companies specializing in electronics. It is a leading supplier of solutions in the fields of test and measurement, broadcasting, radiomonitoring and radiolocation, as well as secure communications. Established more than 75 years ago, Rohde & Schwarz has a global presence and a dedicated service network in over 70 countries. Company headquarters are in Munich, Germany.

Regional contact

Europe, Africa, Middle East
+49 89 4129 12345
customersupport@rohde-schwarz.com

North America
1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com

Latin America
+1-410-910-7988
customersupport.la@rohde-schwarz.com

Asia/Pacific
+65 65 13 04 88
customersupport.asia@rohde-schwarz.com

China
+86-800-810-8228 /+86-400-650-5896
customersupport.china@rohde-schwarz.com

Environmental commitment

- Energy-efficient products
- Continuous improvement in environmental sustainability
- ISO 14001-certified environmental management system

Certified Quality System
ISO 9001

This application note and the supplied programs may only be used subject to the conditions of use set forth in the download area of the Rohde & Schwarz website.

R&S® is a registered trademark of Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; Trade names are trademarks of the owners.