

# Messungen an DVB-T / DVB-H Sendern für Abnahme, Inbe- triebnahme oder Wartung Application Note

## Produkt:

| R&S®ETL

Für Rundfunksender gelten allgemein besonders hohe Anforderungen an die Qualität des ausgestrahlten Signals, da bereits kleine Beeinträchtigungen zu Versorgungsausfällen bei vielen Zuschauern führen können.

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

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Überblick.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vorbereitung.....</b>	<b>4</b>
2.1	Erforderliche Messausrüstung .....	4
2.2	Messaufbau.....	5
2.3	Schutz vor zerstörerischer Eingangsleistung.....	6
2.4	Grundkonfiguration am R&S® ETL .....	6
<b>3</b>	<b>Messungen .....</b>	<b>8</b>
3.1	<b>Leistung.....</b>	<b>8</b>
3.1.1	Senderausgangspegel .....	8
3.1.2	Crest-Faktor.....	10
3.2	<b>Modulatoreigenschaften .....</b>	<b>13</b>
3.2.1	I/Q-Fehler .....	13
3.2.2	Amplitudengang und Gruppenlaufzeit .....	15
3.3	<b>Außerbandanteile .....</b>	<b>16</b>
3.3.1	Schulterabstand und Nachbarkanalaussendungen .....	16
3.3.2	Oberwellen .....	22
3.4	<b>Signalqualität.....</b>	<b>23</b>
3.4.1	Frequenzgenauigkeit.....	23
3.4.2	Transmission Parameter Signaling .....	24
3.4.3	Modulation Error Ratio .....	25
3.4.4	Konstellationsdiagramm .....	27
3.4.5	Bitfehlerverhältnisse .....	28
<b>4</b>	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Zusatzinformation .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Bestellangaben.....</b>	<b>31</b>
<b>A</b>	<b>Transportstromgenerierung mit R&amp;S® ETL .....</b>	<b>32</b>
<b>B</b>	<b>Messunsicherheit der rücklaufenden Leistung .....</b>	<b>33</b>
<b>C</b>	<b>Filterfrequenzgang-Erfassung in Transducerdatei .....</b>	<b>35</b>
<b>D</b>	<b>Automatisierte Messungen mit R&amp;S® TxCheck.....</b>	<b>37</b>

# 1 Überblick

Für Rundfunksender gelten allgemein besonders hohe Anforderungen an die Qualität des ausgestrahlten Signals, da bereits kleine Beeinträchtigungen zu Versorgungsausfällen bei vielen Zuschauern führen können.

Mit nur einem Messgerät, dem R&S®ETL TV Analysator, lassen sich am DVB-T / DVB-H 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 erläutert Kapitel 2 die vorbereitenden Schritte. Neben der erforderlichen Messausrüstung 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 3 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 und den R&S®ETH (siehe Abb. 1). Diese kompakten TV Analyzer können hochwertig einen Großteil der hier beschriebenen Messungen durchführen.



**Abb. 1:** Von links nach rechts: R&S®ETL, R&S®ETH und R&S®ETC

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 Vorbereitung

### 2.1 Erforderliche Messausrüstung

#### Grundausrüstung



R&S® ETL TV Analysator mit:

- entsprechender Optionierung (siehe Kapitel 7)
- aktueller Firmware (kostenlos auf [www.rohde-schwarz.com/product/ETL.html](http://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 (3.1.1) mit einer Messungengenauigkeit von <math><0.1\text{ dB}</math>**

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



**Für die Messung von Schulterabstand und Nachbarkanalausstragungen (3.3.1) bei der Variante „nach Maskenfilter“**

Messbandsperre mit mindestens 40 dB Nutzsingaldämpfung



**Für die Messung der Oberwellen (3.3.2)**

Hochpassfilter mit mindestens 40 dB Nutzsingaldämpfung



Der HF-Eingang des R&S®ETLs (IN1) bzw. der optionale Leistungsmesskopf (IN2) wird bei den verschiedenen Messungen folgendermaßen angeschlossen:

- an die Mess-Schnittstelle am Senderausgang (M1=Vorlauf, M2=Rücklauf)
- an die Mess-Schnittstelle hinter dem Maskenfilter (M3)

Zwischen Senderausgang und Kunstantenne bzw. Anntennenweiche befindet sich gegebenenfalls das Maskenfilter. Einige Messungen können an der Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) durchgeführt werden. Welche Schnittstelle verwendet wird ist abhängig davon, welche Schnittstellen zur Verfügung stehen und welche Einflüsse gemessen werden sollen.

Für einige Messungen der Außerbandanteile (siehe 3.3) sind Hilfsfilter wie z.B. eine abstimmbare Bandsperre notwendig. Diese Filter werden gegebenenfalls am „Insertion point for auxiliary filters“ eingefügt.

Der TV Analysator R&S®ETL ist über seinen rückseitigen Referenzeingang EXT REF mit der am Senderstandort verfügbaren 10 MHz GPS Zeitreferenz verbunden. Der optionale Leistungsmesskopf kann an den R&S®ETL über USB oder den Sensor Eingang der R&S®ETL Hardwareoption R&S®FSL-B5 angeschlossen werden.

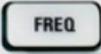
## 2.3 Schutz vor zerstörerischer Eingangsleistung

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 0-10 dBm zu begrenzen. Dieser Bereich bietet einen ausreichenden Schutzabstand vor kurzzeitigen Leistungsspitzen und beeinträchtigt gleichzeitig nicht die Genauigkeit der Messgeräte.

## 2.4 Grundkonfiguration 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-T/H) beziehen sich auf Einstellungen im aktuell angezeigten Konfigurationsdialogs
- 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:

Betriebsart „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 <sup>1</sup>
AMPT→RF Atten Manual: Möglichst niedrig wählen ohne hierbei zu übersteuern <sup>2</sup>
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

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

<sup>1</sup> Nur wenn ein Preselector im Gerät verfügbar ist

<sup>2</sup> Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovid“.

## 3 Messungen

### 3.1 Leistung

#### 3.1.1 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<sup>®</sup>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<sup>®</sup>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"> <li>• M1, für vorlaufende Leistung vor Maskenfilter</li> <li>• M2, für rücklaufende Leistung (siehe Anhang B) vor Maskenfilter</li> <li>• M3, für vorlaufende Leistung nach Maskenfilter</li> </ul>	
Variante „TV/Radio Analyzer/Receiver“	Variante Leistungsmesskopf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3	
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 <sup>®</sup> ETL (IN1) einspeisen	Leistungsmesskopf (IN2) (über USB oder Sensor Eingang verbunden mit R&S <sup>®</sup> ETL) an die Mess-Schnittstelle anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen	MODE→Spectrum Analyzer
	FREQ→Center: Auf Kanalmittefrequenz einstellen
MEAS→Overview→Adjust Attenuation	MENU→Power Meter→Frequency Coupling: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Center</li> </ul>
	MENU→Power Meter→Power Meter→On
Messwert ablesen, siehe Abb. 3	Messwert ablesen, siehe Abb. 4

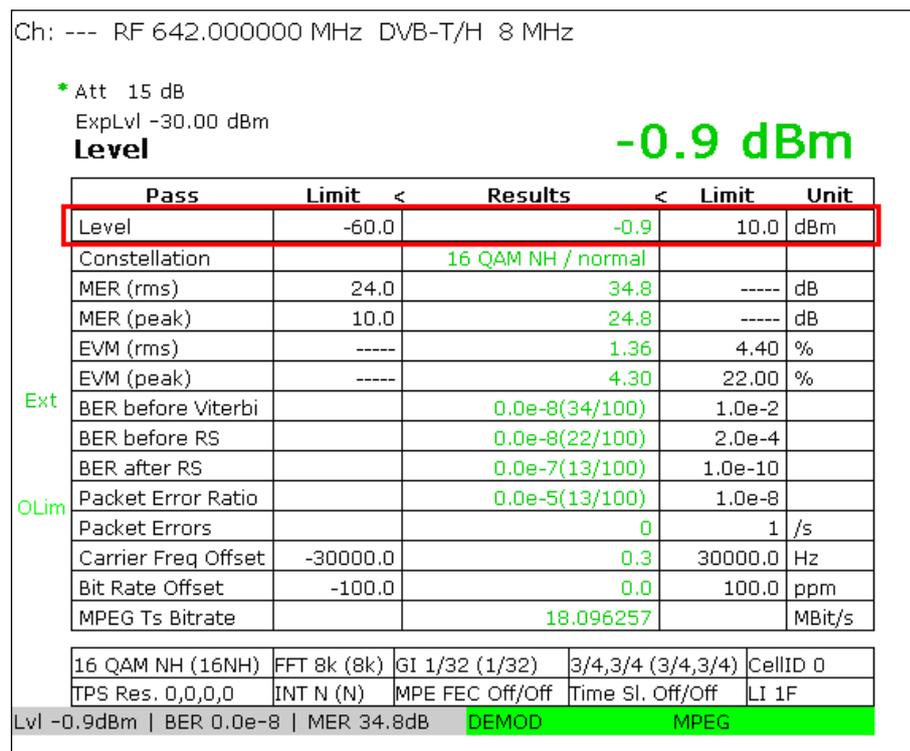


Abb. 3: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: Pegel in der ersten Zeile der Tabelle, in der Statuszeile des Messbildschirms, sowie gezoomt (MEAS→Overview→Zoom) ablesbar

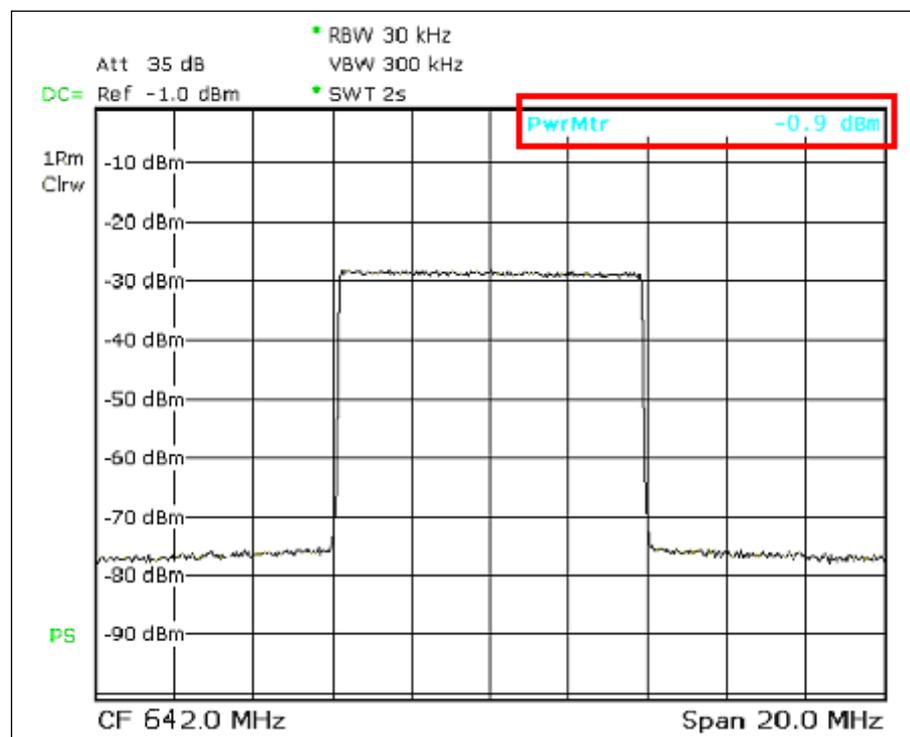


Abb. 4: Betriebsart Spektrum Analyzer: DVB-T Spektrum mit eingeblendetem Messwert des Leistungsmesskopfes oben rechts

### 3.1.2 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 überlagern oder auch auslöschen können. Bei DVB-T / DVB-H ergibt sich für den 8K-Mode ein Wert > 40 dB. In der Praxis wird er im Sender auf etwa 13 dB begrenzt. Da bei hohen Crest-Faktoren die Signalspitzen zunehmend seltener auftreten, wäre eine Messung nur für das jeweilige Messintervall repräsentativ. Deshalb wird bei der Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) die statistische Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Signalsitzen angegeben. 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 2.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen
MODE→Spectrum Analyzer
FREQ→Center: Auf Kanalmittefrequenz einstellen
AMPT→RF Atten Manual: Möglichst niedrig wählen ohne hierbei zu übersteuern <sup>1</sup>
MEAS→More→CCDF→Res BW: 10 MHz
MEAS→More→CCDF→# of Samples: 1000 000 000
Crest-Faktor ablesen und 3,01 dB hinzuaddieren

Messablauf: Crest-Faktor des begrenzten Signals
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→CCDF→Adjust Attenuation
MEAS→Modulation Analysis→# of Samples: 1000 000 000
Crest-Faktor ablesen, siehe Abb. 5 und 3,01 dB hinzuaddieren

<sup>1</sup> Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovld“.

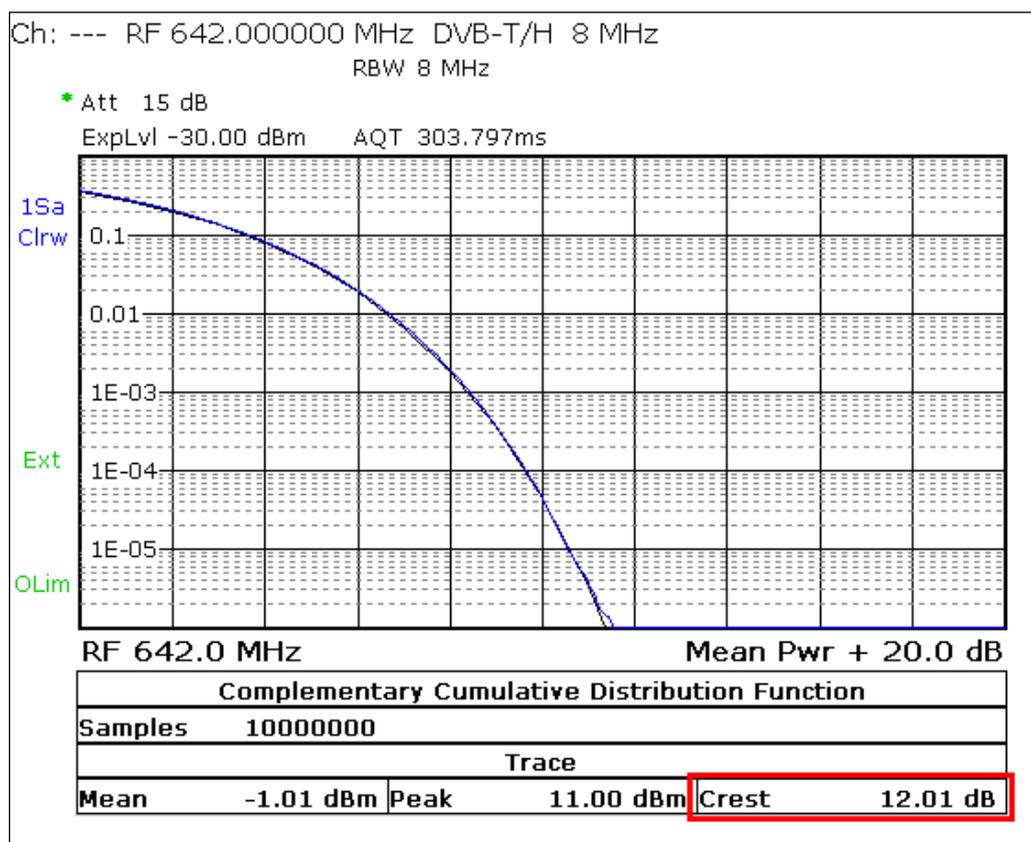


Abb. 5: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→CCDF: Ansicht mit dem ermittelten Crestfaktor unten rechts

## 3.2 Modulatoreigenschaften

### 3.2.1 I/Q-Fehler

DVB-T / DVB-H 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-T / DVB-H 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) (siehe Abb. 15) als Einbruch erkennbar und führt in Bandmitte zu gedrehten und gestauchten Konstellationsdiagrammen. I/Q-Amplitudenungleichheit und I/Q-Phasenfehler (siehe Abb. 7) beeinflussen das MER aller COFDM Träger und verschlechtern es. Die Träger über der DVB-T / DVB-H Bandmitte sprechen hierbei auf die Träger unter der Bandmitte über und umgekehrt.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→Modulation Errors→Adjust Attenuation
Messwerte ablesen, siehe Abb. 6
MEAS→Modulation Analysis→I/Q Imbalance
Messbildschirm, siehe Abb. 7, mit PRINT ausdrucken

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Ext	Level	-60.0		-0.9		10.0	dBm
	Amplitude Imbalance	-2.00		-1.72		2.00	%
	Quadrature Error	-2.00		1.44		2.00	deg
OLim	Carrier Suppression	10.0		16.9			dB
	Carrier Phase			-166.7			deg
	MER (rms)	24.0		34.8		----	dB
	MER (peak)	10.0		25.5		----	dB
	EVM (rms)	----		1.36		4.40	%
	EVM (peak)	----		3.96		22.00	%

Lvl -0.9dBm | BER 0.0e-8 | MER 34.8dB DEMOD MPEG

Abb. 6: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Errors: Amplitude Imbalance, Quadrature Error und Carrier Suppression in den Zeilen 2-4

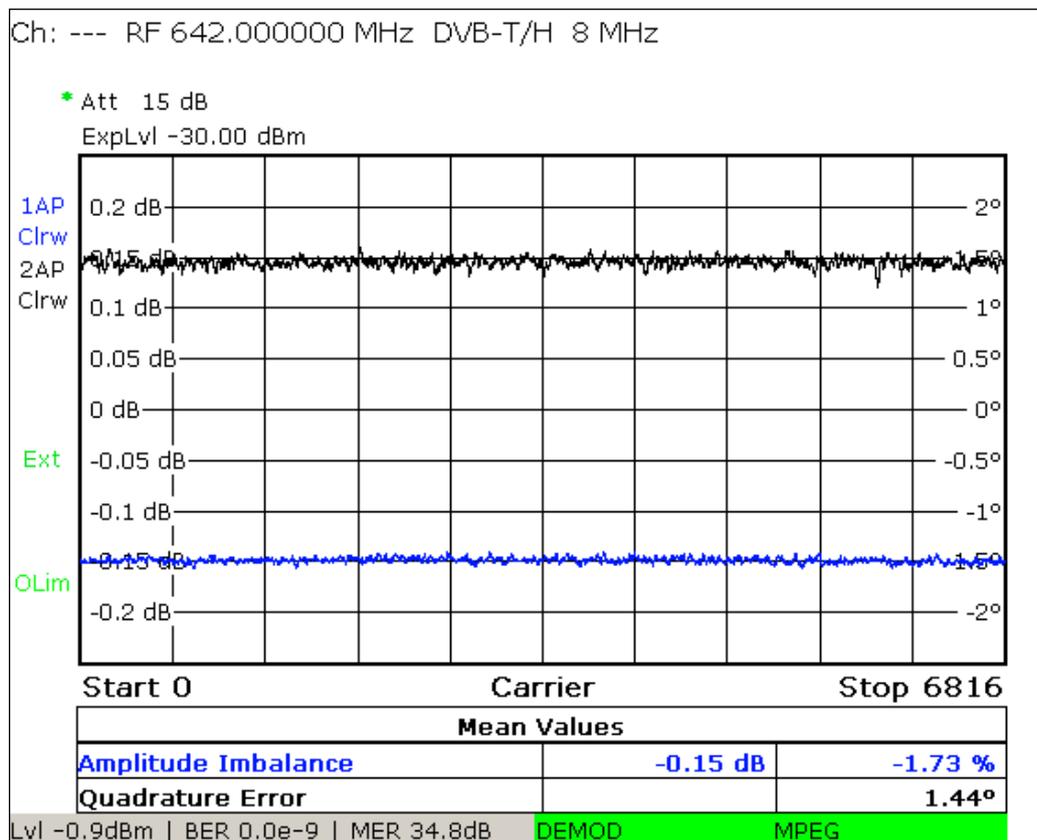


Abb. 7: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis →I/Q Imbalance: Detaillierte Analyse von Amplitude Imbalance und Quadrature Error über alle Träger

### 3.2.2 Amplitudengang und Gruppenlaufzeit

Beim analogen Fernsehen waren Amplitudengang und Gruppenlaufzeit wichtige Kenngrößen einer Übertragungsstrecke vom Senderausgang bis hin zum Empfänger-  
eingang. Aufgrund der Kanalkorrektur im DVB-T / DVB-H 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 2.3
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 2.4 vornehmen
MEAS→Channel Analysis→Amplitude & GroupDelay→Adjust Attenuation
MEAS→Channel Analysis→Amplitude & GroupDelay→Auto Range
Messbildschirm, siehe Abb. 8, mit PRINT ausdrucken

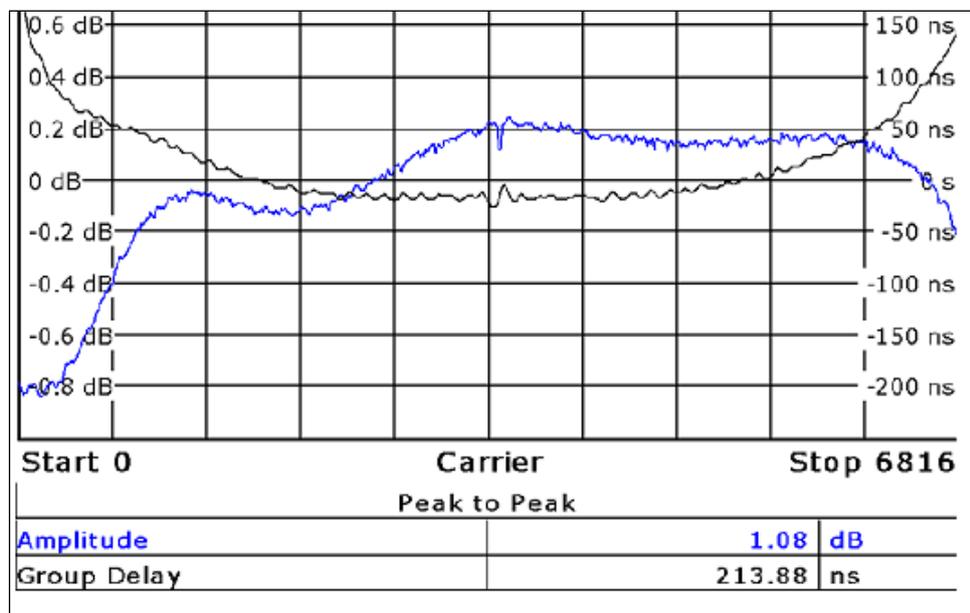


Abb. 8: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Channel Analysis→Amplitude & Group Delay: Amplitudengang und Gruppenlaufzeit nach einem unkompensierten Maskenfilter

### 3.3 Außerbandanteile

In DVB-T / DVB-H 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
- **Nachbarkanalaussendungen**  
Anteile im Umkreis einiger MHz der Kanalgrenzen
- **Oberwellen**  
Anteile bei Vielfachen der Senderfrequenz

#### 3.3.1 Schulterabstand und Nachbarkanalaussendungen

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.

Je nach Maskenart sind laut ETSI EN 302 296 die folgenden Dämpfungen mindestens zu erzielen:

$f_{rel}$ [MHz] bei 7 MHz Kanalband- breite	$f_{rel}$ [MHz] bei 8 MHz Kanalband- breite	Dämpfung [dB] gegenüber Kanalgesamtleistung bei 4 kHz Bezugs- bandbreite	Dämpfung [dB] bei 7 MHz Ka- nal- bandbreite	Dämpfung [dB] bei 8 MHz Ka- nal- bandbreite
+/-3,4	+/-3,9	-32,2 (7 MHz) -32,8 (8 MHz)	0	0
+/-3,7	+/-4,2	-73	-40,8	-40,2
+/-5,25	+/-6,0	-85	-52,8	-52,2
+/-10,5	+/-12,0	-110	-77,8	-77,2
+/-13,85		-126	-93,8	

**Tabelle 3-1: Toleranzmasken nach ETSI EN 302 296 bei unkritischer Maske**

$f_{\text{rel}}$ [MHz] bei 7 MHz Kanalbandbreite	$f_{\text{rel}}$ [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
+/-3,4	+/-3,9	-32,2 (7 MHz) -32,8 (8 MHz)	0	0
+/-3,7	+/-4,2	-83	-50,8	-50,2
+/-5,25	+/-6,0	-95	-62,8	-62,2
+/-10,5	+/-12,0	-120	-87,8	-87,2
+/-13,85		-126	-93,8	

**Tabelle 3-2: Toleranzmasken nach ETSI EN 302 296 bei kritischer Maske**

Trotz der für Spektrumanalysatoren sehr hohen Dynamik von typischerweise 58 dB des R&S<sup>®</sup>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<sup>®</sup>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 Spektrumanalyse **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 <sup>®</sup> ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle nach dem Maskenfilter (M3) anschließen und Messbandsperre am „Auxiliary filter insertion point“ mit einbinden	R&S <sup>®</sup> ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen

### 3.3.1.1 Schulterabstand

Die Messung des Schulterabstandes kann mit dem R&S<sup>®</sup>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<sup>®</sup>ETL auch die vollautomatische Messung nach den DVB Measurement Guidelines [2] definierte "Tangenten-Methode".

Beide Methoden werden vom R&S<sup>®</sup>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 2.3	
Messablauf gemäß 3.3.1 folgen	
Unter SETUP→Transducer die zuvor erstellte Transducerdatei aktivieren	
Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen	Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MKR→Marker 1: Auf Center	MEAS→Spectrum→Adjust Attenuation
MKR→Marker 2: Auf +4.2 MHz <sup>1</sup>	MEAS→Spectrum→Shoulder Attenuation
MKR→More→Marker 3: Auf -4.2 MHz <sup>1</sup>	Bei Bedarf <sup>2</sup> : TRACE→Sweep Count: 100
Markerdifferenzwerte ablesen, siehe Abb. 9	Messwert ablesen, siehe Abb. 10
Falls gewünscht, mit PRINT ausdrucken	
SETUP→Transducer→Active Off: Transducerdatei deaktivieren	

Asymmetrische Schultern sind Indikatoren für eine schlechte Signalqualität.

<sup>1</sup> Gilt für 8 MHz Kanalbandbreite. Für einen 7 MHz Kanal lautet der Wert 3,7 MHz.

<sup>2</sup> 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.

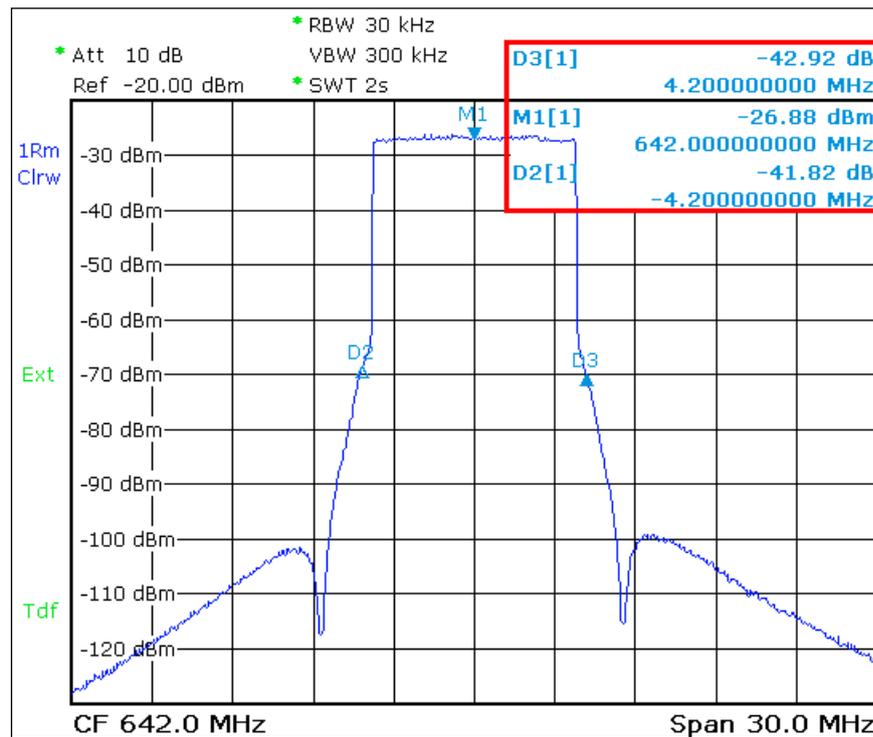


Abb. 9: Betriebsart Spektrum Analyzer: Messung des Schulterabstandes nach Cursor-Messmethode mit aktivierter Transducerdatei bei +/- 4,2 MHz im 8 MHz-DVB-T Kanal

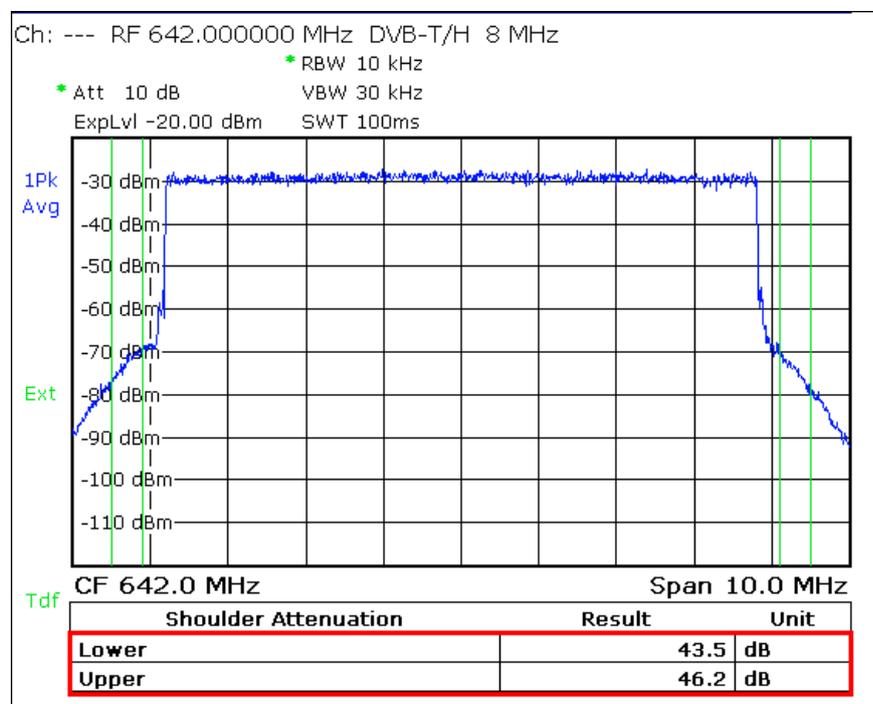


Abb. 10: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Spectrum→Shoulder Atten: Schulterabstandsmessung nach der Tangenten-Messmethode mit aktivierter Transducerdatei gemäß DVB Measurement Guidelines [2]

### 3.3.1.2 Nachbarkanalausstrahlungen

Die Messung der Ausstrahlungen 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 2.3	
Messablauf gemäß 3.3.1 folgen	
Unter SETUP→Transducer die zuvor erstellte Transducerdatei aktivieren	
Grundkonfiguration „Spectrum Analyzer“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen	Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 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"> <li>• Mask Type auswählen</li> </ul>
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. 9, bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	Ergebnisse, siehe Abb. 11, mit PRINT ausdrucken
SETUP→Transducer→Active Off: Transducerdatei deaktivieren	

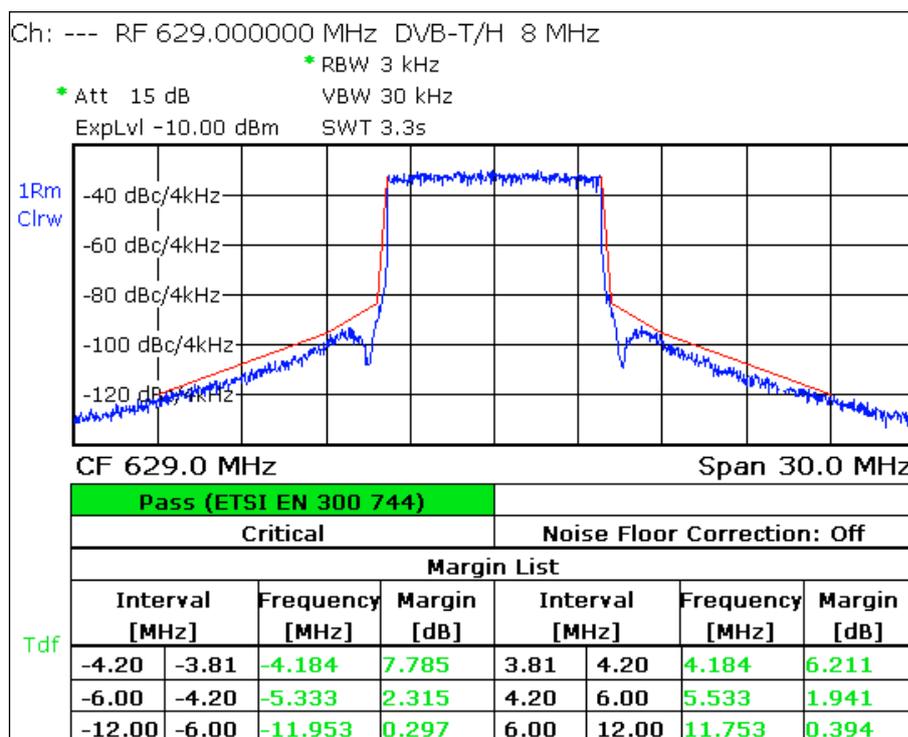


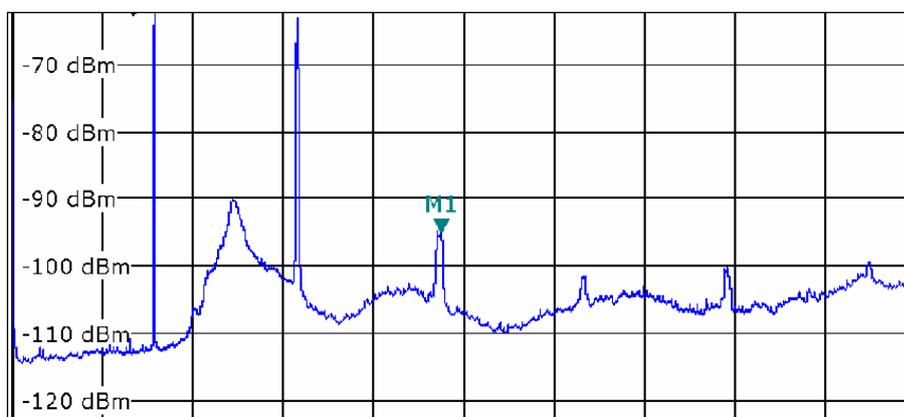
Abb. 11: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Spectrum→OutOfBandEmission: Nachbarkanalausstrahlungen geprüft mit kritischer Maske und mit aktivierter Transducerdatei

### 3.3.2 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. Messbandsperrern (= 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 2.3
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 2.4 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. 12



**Abb. 12: Betriebsart Spektrum Analyzer: Nutzkanal über Hochpass-Filter gedämpft; deutlich sichtbar sind die harmonischen Oberwellen, die mittels Markerfunktion vermessen werden können**

## 3.4 Signalqualität

### 3.4.1 Frequenzgenauigkeit

Speziell im Gleichwellennetzbetrieb ("Single Frequency Network" - SFN) werden sehr hohe Anforderungen an die Frequenzgenauigkeit eines DVB-T / DVB-H Senders von kleiner  $10^{-9}$  gestellt. Die Messung erfolgt mit dem R&S<sup>®</sup>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 2.3
R&S <sup>®</sup> ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor dem Maskenfilter (M1) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MEAS→Overview→Adjust Attenuation
Carrier Frequency Offset notieren, siehe Abb. 13

Ch: --- RF 642.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

\* Att 15 dB

ExpLvl -30.00 dBm

**Carr Freq Offset**

**300.0 mHz**

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
	Level	-60.0		-1.0		10.0	dBm
	Constellation			16 QAM NH / normal			
	MER (rms)	24.0		34.8		-----	dB
	MER (peak)	10.0		25.3		-----	dB
	EVM (rms)	-----		1.36		4.40	%
	EVM (peak)	-----		4.05		22.00	%
Ext	BER before Viterbi			0.0e-8(85/100)		1.0e-2	
	BER before RS			0.0e-8(58/100)		2.0e-4	
	BER after RS			0.0e-7(37/100)		1.0e-10	
OLim	Packet Error Ratio			0.0e-5(37/100)		1.0e-8	
	Packet Errors			0		1	/s
	Carrier Freq Offset	-30000.0		0.3		30000.0	Hz
	Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
	MPEG Ts Bitrate			18.096257			MBit/s
	16 QAM NH (16NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/32 (1/32)	3/4,3/4 (3/4,3/4)	CellID 0		
	TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F		

Abb. 13: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: Frequenzgenauigkeit in der 11ten Zeile der Tabelle, sowie zoomt (MEAS→Overview→Zoom) ablesbar

### 3.4.2 Transmission Parameter Signaling

Bei DVB-T / DVB-H werden über die so genannten Transmission Parameter Signaling (TPS) Träger 67 Bits innerhalb eines Frames übertragen. Diese TPS Bits signalisieren die aktuell gewählten Übertragungsparameter und sind in den vier Frames eines Superframes zum Teil unterschiedlich belegt. Sie setzen sich folgendermaßen zusammen:

- Initialisierungswort
- Längenindikator
- Datenteil laut DVB-T Standard
- Reservierte Bits
- Fehlerschutz

wobei einige der reservierten Bits heutzutage folgende Bedeutung tragen:

- Cell ID
- DVB-H Signalisierung

Vor allem in einem SFN ist es wichtig, dass alle beteiligten Sender korrekte sowie völlig identische TPS Bits ausstrahlen.

Messablauf	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen	
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen	
MEAS→Overview→Adjust Attenuation	
Messbildschirm, siehe Abb. 14 mit PRINT ausdrucken	

Ext	EVM (peak)	----	4.30	22.00	%										
	BER before Viterbi		0.0e-8(34/100)	1.0e-2											
	BER before RS		0.0e-8(22/100)	2.0e-4											
	BER after RS		0.0e-7(13/100)	1.0e-10											
	OLim	Packet Error Ratio		0.0e-5(13/100)	1.0e-8										
		Packet Errors		0	1	/s									
		Carrier Freq Offset	-30000.0	0.3	30000.0	Hz									
		Bit Rate Offset	-100.0	0.0	100.0	ppm									
	MPEG Ts Bitrate		18.096257		MBit/s										
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>16 QAM NH (16NH)</td> <td>FFT 8k (8k)</td> <td>GI 1/32 (1/32)</td> <td>3/4,3/4 (3/4,3/4)</td> <td>CellID 0</td> </tr> <tr> <td>TPS Res. 0,0,0,0</td> <td>INT N (N)</td> <td>MPE FEC Off/Off</td> <td>Time Sl. Off/Off</td> <td>LI 1F</td> </tr> </tbody> </table>						16 QAM NH (16NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/32 (1/32)	3/4,3/4 (3/4,3/4)	CellID 0	TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F
16 QAM NH (16NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/32 (1/32)	3/4,3/4 (3/4,3/4)	CellID 0											
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F											
Lvl -0.9dBm   BER 0.0e-8   MER 34.8dB DEMOD MPEG															

Abb. 14: Betriebsart, TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: TPS Information in der unteren Tabelle

### 3.4.3 Modulation Error Ratio

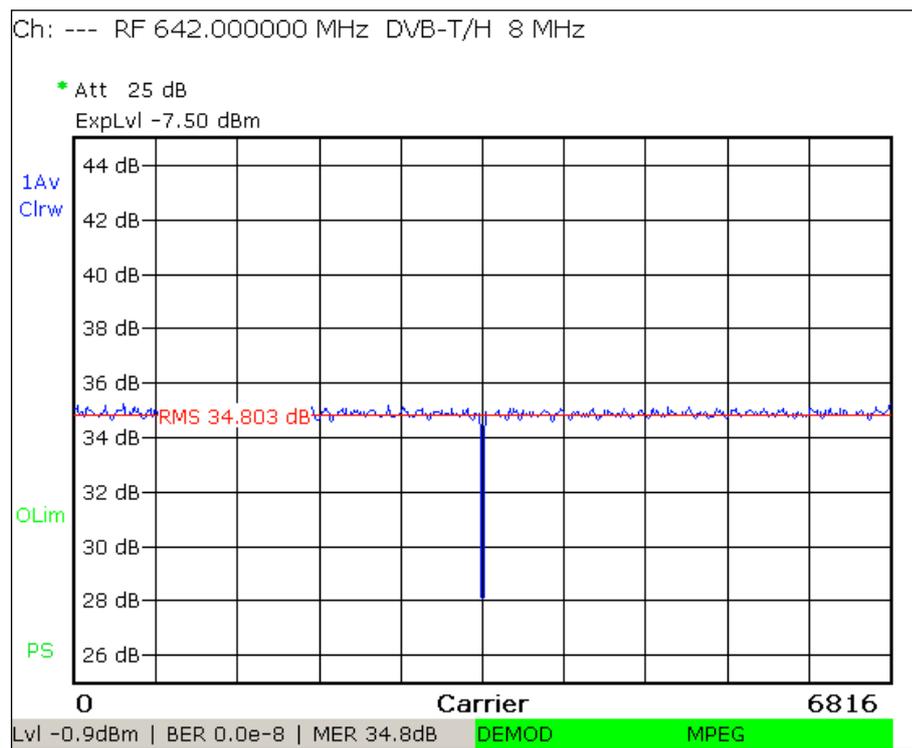
Das Modulation Error Ratio (MER) ist ein Summenparameter für die Erfassung aller Störprodukte die auf ein digitales TV-Signal einwirken. Es wird die Abweichung der Punkte des Konstellationsdiagramm von ihrer theoretischen Position erfasst. Dies ermöglicht eine quantitative Beurteilung der Signalqualität. 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 kommt es zu MER Werten von wenigen dB bis etwa 40 dB. Ein guter DVB-T / DVB-H Sender weist ein MER im Bereich von etwa 35 dB auf. Empfängt man DVB-T / DVB-H Signale über eine Dachantenne mit Gewinn, wird man ein MER an der Antennendose von 20 dB bis 30 dB messen. Beim portablen Empfang mit Zimmerantenne kann man von Werten zwischen 13 dB bis 20 dB ausgehen. Das MER ist auch gleichzeitig der wichtigste Qualitätsparameter eines DVB-T / DVB-H Senders. Das MER kann als gemittelter Wert über alle COFDM Unterträger angegeben werden oder als MER(f) als Graph über den DVB-T / DVB-H Kanal.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→MER(f)→Adjust Attenuation
SPAN→Full Span
Messbildschirm, siehe Abb. 15, mit PRINT ausdrucken

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



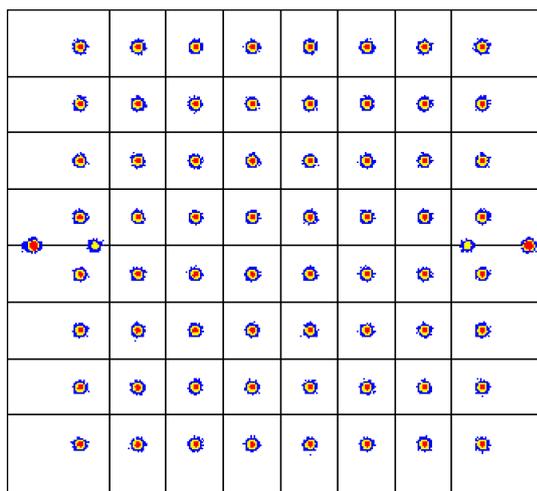
**Abb. 15: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→MER(f): MER als Funktion der Frequenz, sowie Einblendung des über den Kanal gemittelten MER's (RMS)**

### 3.4.4 Konstellationsdiagramm

Das Konstellationsdiagramm ermöglicht es die bei Quadraturmodulation in diskreten Zeitintervallen auftretenden Signalzustände gleichzeitig darzustellen. Das Konstellationsdiagramm ist die grafische Darstellung der Phasengleich- 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-T / DVB-H Signal wird einen wolken-ähnlichen 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.

Die Qualität des I/Q-Abgleichs (siehe 3.2.1) kann durch gezielte Analyse des Mitten-trägers überprüft werden.

Messablauf
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MEAS→Modulation Analysis→Const Diagram→Adjust Attenuation
SPAN→Full Span
Konstellationsdiagramm, siehe Abb. 16, mit PRINT ausdrucken
SPAN→Span Carrier→Carrier Span Träger Nr. der Bandmitte eingeben (Träger Nr. 3408 im 8K-Mode, Träger Nr. 1704 im 4K-Mode bzw. Träger Nr. 852 im 2K-Mode)
Konstellationsdiagramm erneut mit PRINT ausdrucken



**Abb. 16:** Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Modulation Analysis→Const Diagram: DVB-T Konstellationsdiagramm (64QAM) mit 36 dB MER

### 3.4.5 Bitfehlerverhältnisse

Bei DVB-T / DVB-H gibt es einen äußeren und einen inneren Fehlerschutz: Reed-Solomon (RS) Block-Codierung sowie die Faltungscodierung, welche durch einen Viterbi-Decoder ausgewertet wird. Beide Verfahren sind in der Lage, Bitfehler im Datenstrom zu erkennen und korrigieren. Daraus ergeben sich folgende drei Bitfehlerverhältnisse ("Bit Error Ratio" - BER):

- Bitfehlerverhältnis vor Viterbi ("BER before Viterbi")
- Bitfehlerverhältnis nach Viterbi = Bitfehlerverhältnis vor RS ("BER before RS")
- Bitfehlerverhältnis nach RS ("BER after RS")

Alle Störeinflüsse einer DVB-T / DVB-H Übertragungsstrecke bilden sich in den Bitfehlerverhältnissen ab. Bei einem funktionierenden DVB-T / DVB-H Sender kann nur die BER before Viterbi 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 2.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle vor oder nach dem Maskenfilter (M1 / M3) anschließen
Grundkonfiguration „TV/Radio Analyzer/Receiver“ gemäß Abschnitt 2.4 vornehmen
MEAS→Overview→Adjust Attenuation
MEAS→Measure Log→Configure Dialog aufrufen, siehe Abb. 17: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enable Measurement Log aktivieren</li> <li>• Time Span entsprechend der Messdauer auswählen</li> <li>• Trace 1: BER before Viterbi auswählen</li> <li>• Trace 2: BER before Reed-Solomon auswählen</li> </ul>
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. 18.
Falls Messung gültig: MEAS→Measure Log→Auto Range
Falls Messung gültig: Max-Wert dokumentieren und falls gewünscht, Ergebnisse mit PRINT ausdrucken, siehe Abb. 19.



Abb. 17: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Measure Log→Configure: Konfiguration für die Bitfehlerratenmessung

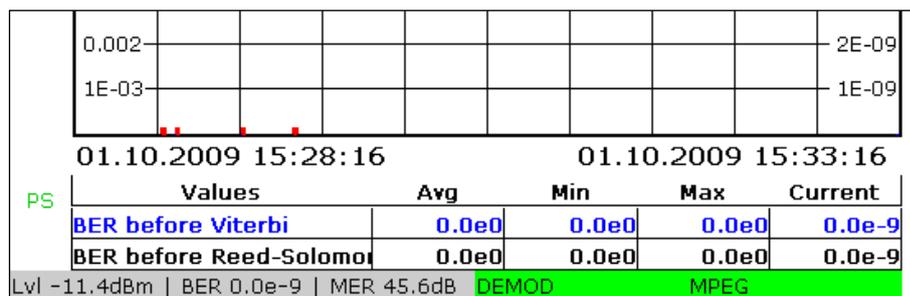


Abb. 18: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Measure Log: Bitfehlerratenmessung mit dem Measurement Log. Rote Markierungen direkt oberhalb der Zeitachse (hier im ersten und zweiten Zehntel) signalisieren einen Synchronisationsverlust. In diesem Fall ist die Bitfehlerratenmessung ungültig.

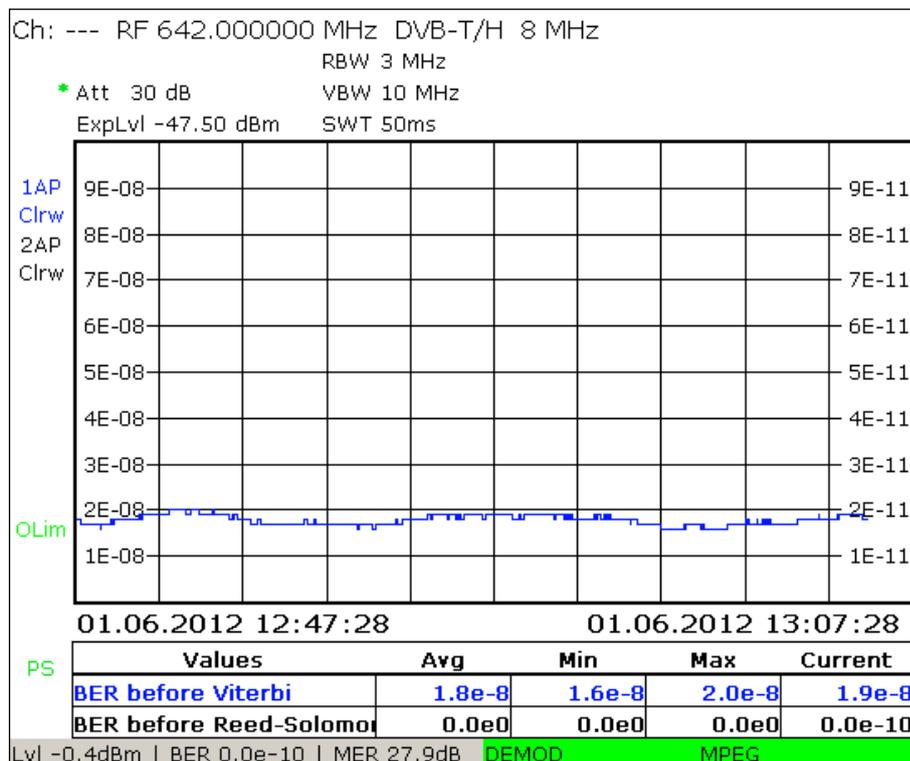


Abb. 19: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Measure Log: Gültige Bitfehlerratenmessung

## 4 Abkürzungen

BER	Bit error ratio
CCDF	Complementary cumulative distribution function
DVB-T	Digital video broadcasting – Terrestrial
DVB-H	Digital video broadcasting – Handheld
MER	Modulation error ratio
OFDM	Orthogonal frequency division multiplex
QAM	Quadrature amplitude modulation
RS	Reed solomon
SFN	Single frequency network
TPS	Transmission parameter signaling
TS	Transport stream

## 5 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

## 6 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](mailto:Broadcasting-TM-Applications@rohde-schwarz.com).

## 7 Bestellangaben

Bestellbezeichnung	Typ	Order-No.
<b>Gerät</b>		
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
<b>Benötigte Optionen</b>		
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
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
DVB-T/H Firmware	R&S®ETL-K240	2112.0556.02
Measurement Log für DTV	R&S®ETL-K208	2112.0579.02
<b>Empfohlene Optionen</b>		
Gleichwellennetzabgleich		
DVB-T/H Frequenzoffset-Messung	R&S®ETL-K241	2112.0562.02
<b>Bilddarstellung</b>		
Video und Audio HW Decoder	R&S®ETL-B281	2112.0356.02
HDTV und Dolby Upgrade	R&S®ETL-K281	2112.0604.02
<b>MPEG-Analyse</b>		
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

## A Transportstromgenerierung mit R&S®ETL

Der MPEG TS Generator / Recorder des R&S®ETLs erzeugt einen DVB-konformen MPEG-2 TS. Dieser wird mit einem 75 Ω Kabel von dem TS ASI OUT Ausgang (Rückseite des R&S®ETLs) 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. 20)
MEAS	→TS Generator→Start

The screenshot displays a progress bar at the top, partially filled with blue, indicating the current playback position. Below the bar, the start time is 00:00:00 and the end time is 00:23:04. Two tables provide detailed playback information:

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. 20: 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<sup>®</sup>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. 21. 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.

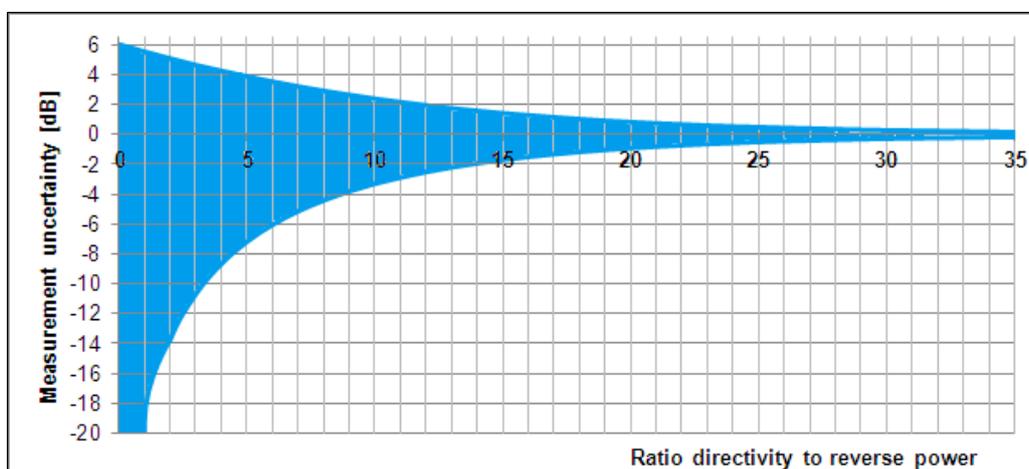


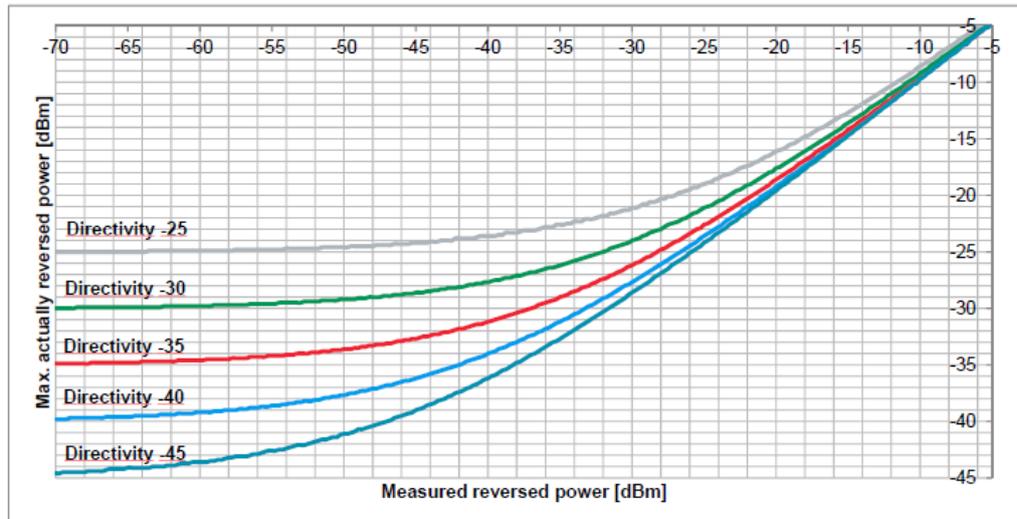
Abb. 21: Messunsicherheit der skalaren Messung, abhängig vom Verhältnis Direktivität des Messrichtkopplers zur rücklaufenden Leistung (Einfügungsdämpfung des Richtkopplers vernachlässigt)

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  $\pm 1$  dB. Der kritische Fall einer großen rücklaufenden Leistung wird also auch mit skalarer Messung erkannt.

Nachfolgendes Diagramm (Abb. 22) ermöglicht es, die maximale mögliche tatsächliche rücklaufende Leistung abhängig vom angezeigten Messwert zu ermitteln.



**Abb. 22: 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 überschreitet<sup>1</sup>:

Transducer Datei erzeugen	
MODE→Spectrum Analyzer	
FREQ→Center: Auf Kanalmittenfrequenz 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. 23	
AMPT→Ref Level: Auf -30 dBm einstellen	
R&S® ETL mit Preselector <sup>2</sup>	R&S® ETL ohne Preselector
AMPT→RF Atten Manual: Auf 15 dB einstellen	AMPT→RF Atten Manual: Auf 0 dB einstellen

<sup>1</sup> Ansonsten kann der Frequenzgang aus dem Datenblatt auch von Hand in die Transducerdatei eingegeben werden (SETUP→Transducer)

<sup>2</sup> Wenn ein Preselector im Gerät verfügbar ist, ist unter AMPT→More die Einstellung Preselector verfügbar. Der Preselector ist standardmäßig eingeschaltet.

Transducer Datei erzeugen	
Falls es zur Übersteuerung kommt <sup>1</sup> , 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. 24	
<b>Variante 1 (Dynamik Reduktion durch Hilfsmittel)</b>	<b>Variante 2 (Vermessung vor Dynamik Erhöhung)</b>
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. 23: Verkabelung um Kabel zu normalisieren

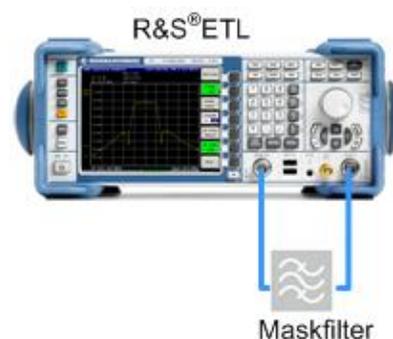


Abb. 24: Verkabelung zum Vermessen des Frequenzgangs eines Maskenfilters

<sup>1</sup> Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovid“.

## D Automatisierte Messungen mit R&S®TxCheck

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

Bestandteil dieser Application Note ist die Datei „7BM101.ETLtxi“. Wird diese in R&S®TxCheck geöffnet, so wird die Software zur Durchführung aller automatisierbaren Messungen am Sender konfiguriert:

- Senderausgangspegel (3.1.1, Variante „TV/Radio Analyzer/Receiver“)
- Crest-Faktor (3.1.2)
- I/Q-Fehler (3.2.1)
- Amplitudengang und Gruppenlaufzeit (3.2.2)
- Frequenzgenauigkeit (3.4.1)
- Transmission Parameter Signaling (3.4.2)
- Modulation Error Ratio (3.4.3)
- Konstellationsdiagramm (3.4.4)

Automatisierte Messungen mit R&S®TxCheck durchführen
Kopieren der 7BM101.ETLtxi auf den R&S®ETL
 Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 2.3
R&S®ETL (IN1) falls verfügbar an die Mess-Schnittstelle (M4) der Antennenweiche oder ansonsten an (M3) nach dem Maskenfilter anschließen
MODE→TxCheck
Im R&S®TxCheck Menü File/Open Profile (*.ini) das zuvor kopierte Profile „7BM101.ETLtxi“ auswählen
In der Registerlasche “Settings” Frequenz und Bandbreite anpassen, siehe Abb. 25
In der Registerlasche “Measurements” gegebenenfalls die Grenzen für die einzelnen Messparameter anpassen, siehe Abb. 26
Über das Menü „Measurement/Start Measurement“ die Messung starten
Nach Abschluss der Messungen die Ergebnisse über das Menü „File/Save“ abspeichern

Die Ergebnisse der automatisierten Messung werden in den Registerlaschen „Measurements“ und „Graphics“ angezeigt. Zum Betrachten der abgespeicherten Ergebnis-Dateien auf einem externen Rechner ist R&S®TxCheck dort zunächst zu installieren (siehe hierzu R&S®TxCheck Menü „Help/Installation Info...“). Der Ergebnisreport kann schließlich über die Menüfunktion „File/Print“ erzeugt werden.

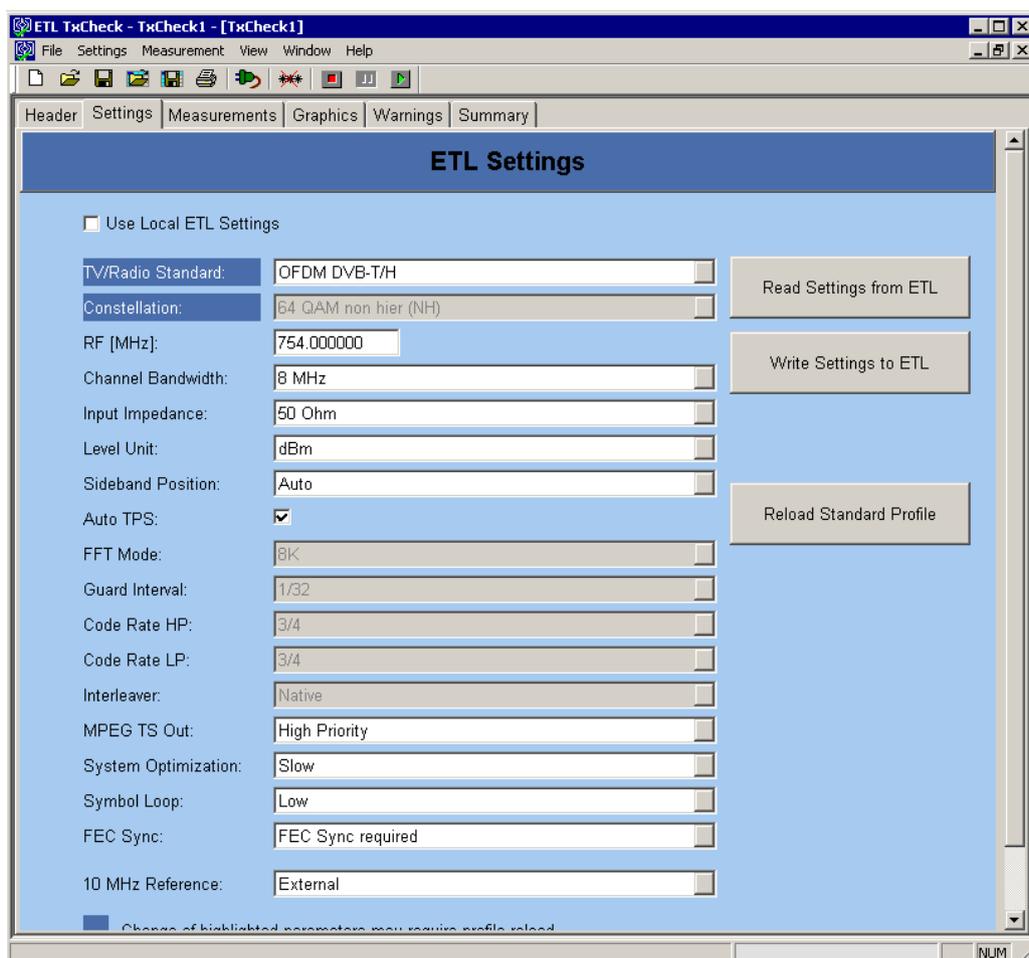


Abb. 25: R&amp;S® TxCheck User Interface, Registerlasche "Settings"

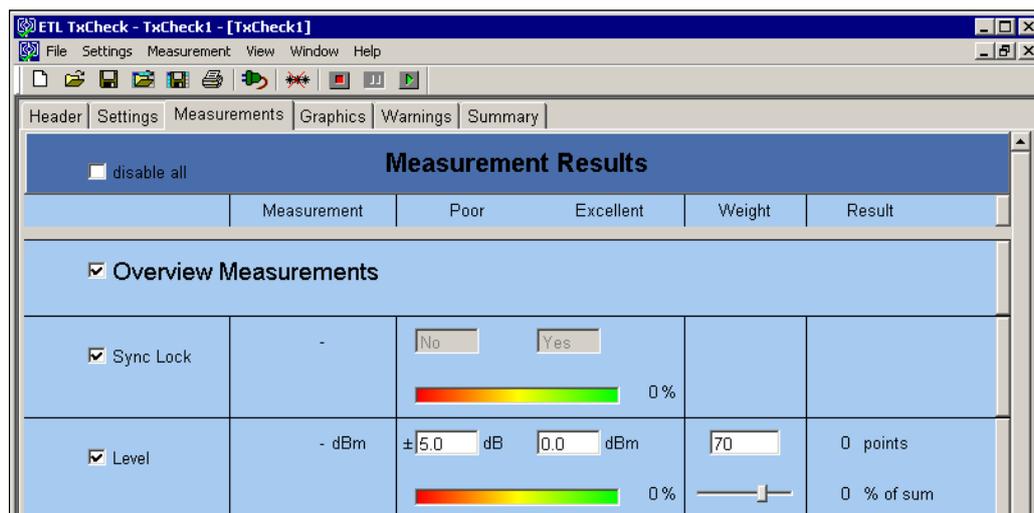


Abb. 26: R&amp;S® TxCheck User Interface, Registerlasche "Measurements"

## About Rohde & Schwarz

Der Elektronikkonzern Rohde & Schwarz ist ein führender Lösungsanbieter in den Arbeitsgebieten Messtechnik, Rundfunk, Funküberwachung und -ortung sowie sichere Kommunikation. Vor mehr als 75 Jahren gegründet, ist das selbst-ständige Unternehmen mit seinen Dienstleistungen und einem engmaschigen Servicenetz in über 70 -Ländern der Welt präsent. Der Firmensitz ist in Deutschland (München).

## Kontakt

Europa, Afrika, Mittlerer Osten  
+49 89 4129 12345  
[customersupport@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport@rohde-schwarz.com)

Nordamerika  
1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)  
[customer.support@rsa.rohde-schwarz.com](mailto:customer.support@rsa.rohde-schwarz.com)

Lateinamerika  
+1-410-910-7988  
[customersupport.la@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.la@rohde-schwarz.com)

Asien/Pazifik  
+65 65 13 04 88  
[customersupport.asia@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.asia@rohde-schwarz.com)

China  
+86-800-810-8228 /+86-400-650-5896  
[customersupport.china@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.china@rohde-schwarz.com)

## Qualitäts- und Umweltmanagement

- Energie-effiziente Produkte
- Kontinuierliche Weiterentwicklung nachhaltiger Umweltkonzepte
- ISO 14001-zertifiziertes Umweltmanagementsystem



Die Nutzung dieser Application Note und der mitgelieferten Programme darf nur unter Anerkennung der Nutzungsbedingungen erfolgen, die in der Download-Area der Rohde & Schwarz-Website aufgeführt sind.

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer