

# Messlösungen für Software Defined Radios (SDR)

Das vorliegende Papier gibt eine Einführung in Software Defined Radios (SDR) mit dem Hintergrund militärischer Funkgeräte und stellt dazugehörige Messlösungen von Rohde & Schwarz vor.

**Anmerkung:**

Die aktuelle Version dieses Dokuments findet man auf unserer Homepage:

<https://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA206>

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
1.1	Software Defined Radio (SDR).....	5
1.2	Besondere Anforderungen an militärische Funkgeräte.....	7
1.3	Wellenformen und Messparameter.....	8
1.3.1	Wellenform.....	8
1.3.2	Messparameter.....	9
1.4	SDR-Funkgeräte von Rohde & Schwarz.....	12
<b>2</b>	<b>Messlösungen in Entwicklung, Produktion und Service..</b>	<b>15</b>
2.1	Messungen im Hoch- und Zwischenfrequenzbereich.....	18
2.1.1	Sendertests: Signal- und Spektrum-Analysator.....	18
2.1.2	Empfängertests: Signal-Generatoren.....	25
2.1.3	Local Oscillator (LO) Performance.....	30
2.1.4	Messungen an Verstärkern.....	32
2.1.5	Messungen an Filter / Mixern.....	34
2.1.6	Messungen an Analog-Digital-Umsetzern (ADC).....	36
2.1.7	Antennen.....	38
2.2	Messungen im und am Digitalen Basisband.....	39
2.2.1	Messungen an Kommunikationsbussen: Oszilloskop.....	40
2.2.2	Anschluss an der digitalen IQ-Schnittstelle (Ex-IQ-Box).....	41
2.2.3	Messungen an der Audio-Schnittstelle.....	42
2.3	EMV-Tests.....	42
2.4	Testsystem für die Produktion, Verifikation und Wartung.....	43
2.5	Kanalsimulator - Fading.....	48
2.6	CMA180 Radio Test Set.....	50
2.7	CTH: Einsatz im Vor-Ort-Service.....	52
2.8	Einbindung von Instrumenten in EDA-Tools.....	53
<b>3</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>54</b>
3.1	Literatur-Verzeichnis.....	54
3.2	Zusätzliche Informationen.....	55
3.3	Bestellinformationen.....	55

Folgende Abkürzungen werden für Rohde & Schwarz-Produkte verwendet:

Der R&S®SMW200A wird bezeichnet als SMW.  
Der R&S®SMBV100A/B wird bezeichnet als SMBV.  
Der R&S®AFQ100A/B wird bezeichnet als AFQ.  
Der R&S®Ex-IQ-Box wird bezeichnet als Ex-IQ-Box.

Der R&S®SMA100A/B wird bezeichnet als SMA.  
Der R&S®SMB100A/B wird bezeichnet als SMB.  
Der R&S®SMC100A wird bezeichnet als SMC.  
Der R&S®SMF100A wird bezeichnet als SMF.  
Der R&S®SGS100A wird bezeichnet als SGS.

Der R&S®FSV wird bezeichnet als FSV.  
Der R&S®FSW wird bezeichnet als FSW.  
Der R&S®FSVR wird bezeichnet als FSVR.  
Der R&S®FPS wird bezeichnet als FPS.  
Der R&S®FPC wird bezeichnet als FPC.  
Der R&S®FPL wird bezeichnet als FPL.  
Der R&S®FSL wird bezeichnet als FSL.  
Der R&S®FSH4/8 wird bezeichnet als FSH.  
Der R&S®FPH wird bezeichnet als FPH.  
Alle Analysatoren werden bezeichnet als FSx.

Der R&S®ZVA wird bezeichnet als ZVA.  
Der R&S®ZVT wird bezeichnet als ZVT.  
Der R&S®ZNBT wird bezeichnet als ZNBT.  
Der R&S®ZVA wird bezeichnet als ZVA.  
Der R&S®ZNL wird bezeichnet als ZNL.  
Der R&S®ZNLE wird bezeichnet als ZNLE.  
Der R&S®ZNC wird bezeichnet als ZNC.  
Der R&S®ZND wird bezeichnet als ZND.  
Der R&S®ZVL wird bezeichnet als ZVL.  
Der R&S®ZPH wird bezeichnet als ZPH.

Der R&S®ESW wird bezeichnet als ESW  
Der R&S®ESR wird bezeichnet als ESR.  
Der R&S®ESRP wird bezeichnet als ESRP.  
Der R&S®ESL wird bezeichnet als ESL.

Der R&S®RTP wird bezeichnet als RTP.  
Der R&S®RTO wird bezeichnet als RTO.  
Der R&S®RTE wird bezeichnet als RTE.  
Der R&S®RTA wird bezeichnet als RTA.  
Der R&S®RTM wird bezeichnet als RTM.  
Der R&S®RTB wird bezeichnet als RTB.  
Der R&S®RTC wird bezeichnet als RTC.  
Alle Oszilloskope werden bezeichnet als RTx.

Der R&S®CTH100A/200A wird bezeichnet als CTH.  
Der R&S®CMA180 wird bezeichnet als CMA.

Der R&S®UPV wird bezeichnet als UPV.

Die R&S®SECOS Wellenformen werden bezeichnet als SECOS.  
Die R&S®SECOM Wellenformen werden bezeichnet als SECOM.  
Die R&S®HDR Wellenformen werden bezeichnet als HDR.

Das R&S®MR6000A wird bezeichnet als MR6000A.  
Das R&S®MR6000L/R wird bezeichnet als MR6000L/R.  
Das R&S®MR6000E wird bezeichnet als MR6000E.  
Alle Flugfunkgeräte werden bezeichnet als M3AR.

Das R&S®M3SR Serie 4100 wird bezeichnet als Serie 4100.  
Das R&S®M3SR Serie 4400 wird bezeichnet als Serie 4400.  
Alle stationären/schiffsgebundenen Funkgeräte werden bezeichnet als M3SR.

Das R&S®Serie4200 wird bezeichnet als Serie4200.

Das R&S®MR3000P wird bezeichnet als MR3000P.  
Das R&S®MR300xU/H wird bezeichnet als MR300xU/H.  
Alle taktischen Funkgeräte werden bezeichnet als M3TR.

Alle proprietären SDR Funkgeräte werden bezeichnet als M3xR.

Das R&S®SDAR AR5000 wird bezeichnet als SDAR.  
Das R&S®SDTR VR5000 wird bezeichnet als SDTR.  
Alle SCA basierten SDR Funkgeräte werden bezeichnet als SDxR.

# 1 Einleitung

Zur Zeit der analogen Funktechnik wurde ein Funkgerät komplett in Hardware abgebildet. Auch mit der Einführung von digitalen Funkstandards blieb das Funkgerät hardwarebasiert und damit sehr auf ein einzelnes Funkverfahren zugeschnitten.

## Warum SDR?

Schon früh kam der Wunsch nach Funkstandard-übergreifenden Funkgeräten auf. Im kommerziellen Bereich wünschten sich Vielreisende bereits in Zeiten von GSM und CDMA Mobiltelefone, die mehrere Funkstandards unterstützen. Heutzutage unterstützt ein kommerzielles State-of-the-Art-Mobiltelefon mindestens mehrere Standards wie LTE, W-CDMA, GSM, Bluetooth und WLAN.

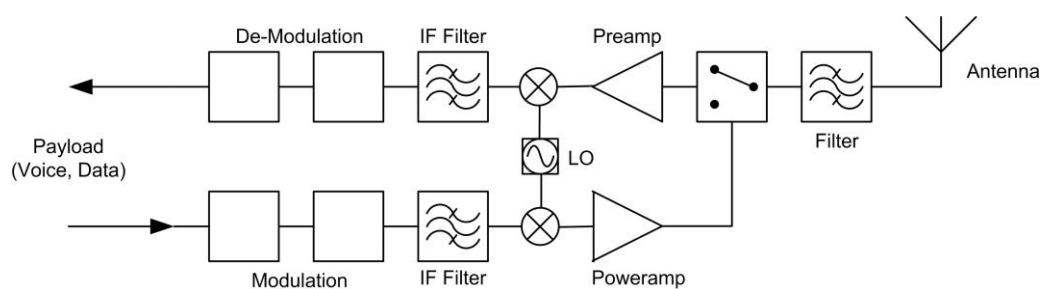
Dies lässt sich prinzipiell über mehrere, speziell auf die Funkstandards zugeschnittene Hardwarestränge realisieren, allerdings steigen hier die Kosten rasant an. Hier bietet sich ein per Software zu (re-) konfigurierendes Funkgerät geradezu an.

Der Begriff Software Defined Radio (SDR) ist nicht klar abgegrenzt. Er wird unterschiedlich je nach Autor und Branche definiert. Das [Wireless Innovation Forum](#) definiert SDR folgendermaßen: "Radio in which some or all of the physical layer functions are software defined"

Dieses Papier stellt den Grundgedanken von SDR vor und gibt eine Übersicht über die Funkgeräte von Rohde & Schwarz. In Kapitel 2 werden die Messlösung von Rohde & Schwarz vorgestellt.

## 1.1 Software Defined Radio (SDR)

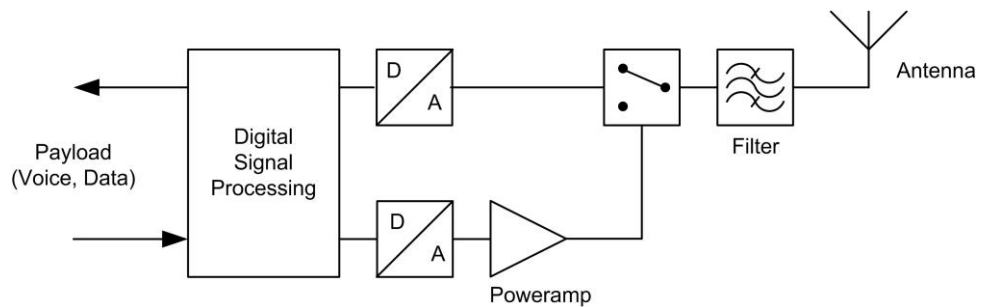
### Vom analogen Funkgerät zum Software Defined Radio



**Bild 1: herkömmliches (Hardware-) Radio (vereinfacht)**

Bild 1 zeigt schematisch ein klassisches Hardware-Radio aufgetrennt in Empfänger- und Sender-Zweig. Das empfangene Signal wird zunächst gefiltert und vorverstärkt. Anschließend wird es von der Trägerfrequenz auf eine Zwischenfrequenz heruntorgemischt (dies kann auch mehrstufig geschehen). Das Signal wird jetzt noch mal gefiltert und anschließend demoduliert. Der (De-)Modulations-Block kann analog oder digital ausgeführt sein.

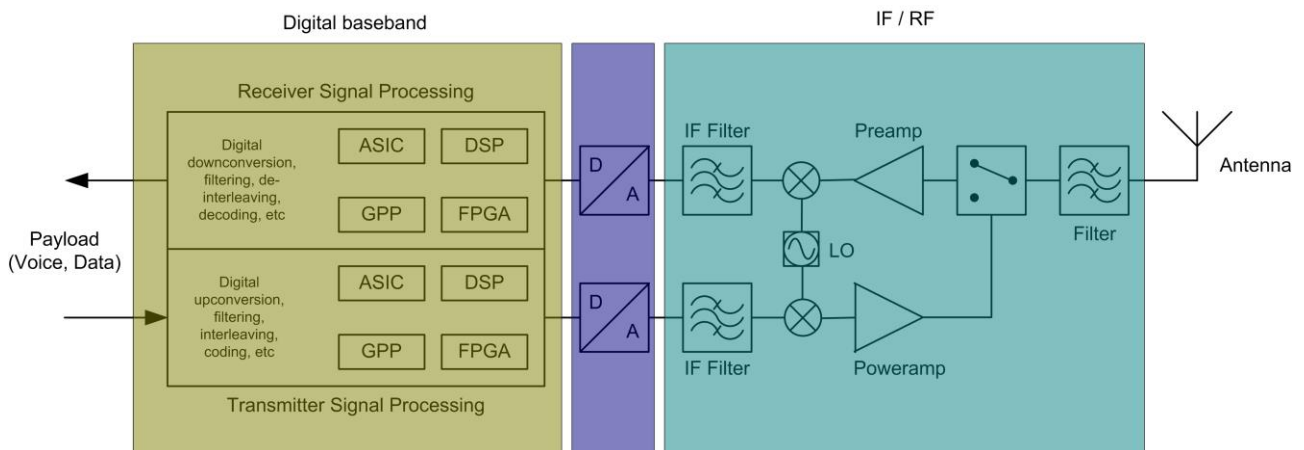
In einem idealen SDR wäre das gesamte Radio digital ausgeführt und damit durch Software rekonfigurierbar. Die Analog-Digital-Umsetzung fände so nah wie möglich an der Antenne statt. (siehe Bild 2). Die Umsetzung auf eine Zwischenfrequenz entfielen.



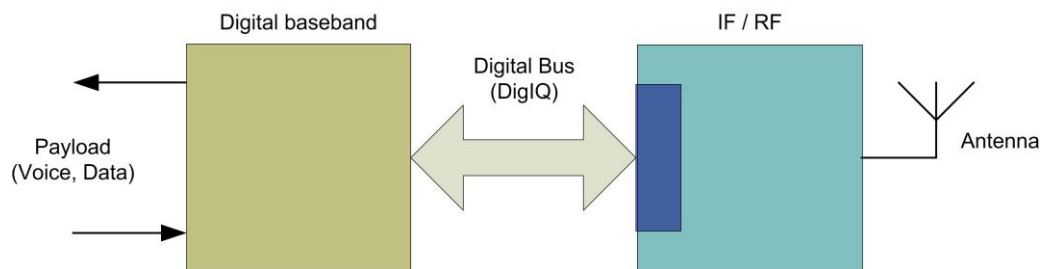
**Bild 2: "ideales" SDR (vereinfacht)**

Bei einem idealen SDR müssten die Analog-Digital-Umsetzer (ADC) den kompletten Frequenzbereich des Radios abdecken. Dies ist mit heutigen ADCs (noch) nicht möglich bzw. durch den hohen Leistungsbedarf nicht in tragbaren Geräten möglich.

Mischt man dagegen die HF zunächst in einer Stufe auf eine Zwischenfrequenz oder direkt in das Basisband, so müssen die ADCs nur die Bandbreite des Kanals (z.B. 20 MHz für ein LTE-Signal) umsetzen. Dies führt zu dem vereinfachten Schaltbild eines real existierenden SDRs (Bild 3). Das SDR lässt sich jetzt in einen analogen und in einen digitalen Teil auftrennen. Einige Implementierung sind auch physikalisch getrennt, hier erfolgt die Verbindung über einen zusätzlichen digitalen Bus, auf dem digitale IQ-Signale übertragen werden (Bild 4).



**Bild 3: real implementiertes SDR (vereinfacht)**

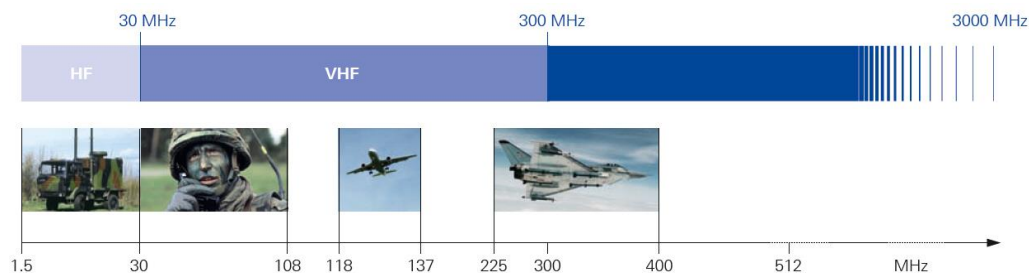


**Bild 4:** Auftrennung eines SDR in analogen (TRX-Modul) und einen digitalen (BB-Modul) Teil. Über den digitalen Bus werden IQ-Daten übertragen.

## 1.2 Besondere Anforderungen an militärische Funkgeräte

Funkgeräte für die militärische Kommunikation (dazu zählen vereinfachend auch Systeme zur Luftfahrtkontrolle (ATC)) sehen sich verschiedenen Herausforderungen ausgesetzt. Im professionellen und sicherheitsrelevanten Umfeld wird an Eigenschaften wie z.B. Verfügbarkeit, Sicherheit und Robustheit höchste Anforderungen gestellt.

Innerhalb des militärischen Kommunikationsszenarios ergeben sich je nach Anwendungsfall verschiedene Anforderungen. Die Kommunikation findet klassisch in dem Frequenzband von 1,5 MHz bis 400 (512) MHz statt und überstreicht damit die Bänder HF, VHF und UHF.



**Bild 5:** Frequenzbänder

Im HF-Band (Kurzwellen) ist die Kommunikation auf Grund von Reflektionen an der Erdatmosphäre auch über weite Entfernungen möglich (Beyond-Line-Of-Sight (BLOS)) möglich. In diesem Frequenzbereich lässt sich also z.B. sichere Kommunikation zwischen Botschaften in der ganzen Welt durchführen. Zusätzlich findet auch taktische Bodenkommunikation statt, die bis in das VHF-Band bis 88 (108) MHz reicht.

Die zivile Flugsicherung (Air Traffic Control (ATC)) benutzt Frequenzen von 118 ...137 MHz, militärische Kommunikation findet zwischen 137...156 MHz statt. (Zivile) Schiffskommunikation belegt den Bereich zwischen 156...174 MHz. Im Band von 225 bis 400 MHz findet militärische Flugfunk- und UHF-Satelliten-Kommunikation statt. Dieser Bereich wird auch zunehmend für den taktischen Funk benutzt.

Unterschiedliche Anforderungen ergeben sich auch durch den Einsatzzweck. Bodentruppen erwarten neben Fahrzeuggeräten (bis zu 150 W) ein „Handy“-ähnliches Gerät bezüglich Gewicht und Batterielaufzeit, hier sind die maximalen Ausgangsleistungen geringer (5 W). Stationäre Geräte (dazu zählen auch Funkgeräte auf Schiffen) können größer ausfallen, hier sind aber auch höhere Ausgangsleistungen (bis zu 1000 W) gefragt und die Notwendigkeit ein flexibles Antennen- und Funklinienmanagement zu verwirklichen. Geräte für den Flugverkehr müssen dagegen einen vordefinierten Formfaktor einhalten, unterliegen sehr hohen Umweltstandards (z.B. Schütteln, Temperaturen, EMV) und zivilen Sicherheitsstandards. Sie sind für das jeweilige Muster zu qualifizieren und müssen auch bei sehr hohen (relativen) Geschwindigkeiten funktionieren (Unempfindlichkeit gegen Fading- und Doppler-Effekte).

Auch in der militärischen Funkkommunikation existieren verschiedenste Standards und Wellenformen. Neben standardisierten Wellenformen wie z.B. HAVE QUICK (Stanag 4246) oder SATURN (second generation antijam tactical UHF radio for NATO – Stanag 4372) oder ESSOR als europäisches Programm, werden auch proprietäre Standards angeboten. Zusätzlich wird auch hier die Unterstützung kommerzieller Standards vorgesehen, beispielsweise Anpassungen kommerzieller Standards (wie z.B. LTE) an militärische Bedürfnisse und militärische Frequenzbereiche.

## 1.3 Wellenformen und Messparameter

### 1.3.1 Wellenform

Als Wellenform wird in der militärischen Funktechnik das komplette Funkverfahren, also die Protokolle der ISO-Schichten 1...7 sowie die zugehörige Verwaltungsfunktionalität bezeichnet.

Im militärischen Bereich müssen die Kommunikationsdaten gegen Abhören geschützt werden. Dieser als COMSEC (Communication Security), bezeichnete Teil beinhaltet z.B. die Verschlüsselung der Nachricht und ist normalerweise in jeder militärischen Wellenform enthalten.

TRANSEC (Transmission Security) bezeichnet hingegen Maßnahmen zur sicheren funkttechnischen Übertragung (im Physical Layer). Dazu gehören Maßnahmen wie Spreizen (Spread Spectrum Modulation) zur Vermeidung von Entdeckung des Funksignals oder Frequenzsprungverfahren („Hopping“), um das gewollte Stören („Jamming“) zu erschweren. Diese Maßnahmen werden auch als Electronic Protection Measures (EPM) bezeichnet.

#### Festfrequenz-Wellenformen

Dies ist die älteste Art von Wellenformen. Sie benutzen typischerweise für Sprache analoge Modulationsarten wie AM, FM und SSB in klassischen Kanalbandbreiten von 3...25 kHz. Datenraten sind im Bereich weniger kbit/s möglich. Beispiele hierfür sind die NATO STANAGs 4203/4204/4205.



### EPM-Wellenformen

Um die Übertragung sicher gegen Jamming zu machen, kommen in diesem Bereich zu den Eigenschaften der oben erwähnten Wellenformen jetzt Frequenzhopping hinzu. Typisch Vertreter aus dem NATO-Bereich sind hier HAVE QUICK oder SATURN.

### HF-Wellenformen

Bei der Radiokommunikation im HF-Band (1,5 bis 30 MHz) werden die elektromagnetischen Wellen an der Ionosphäre reflektiert und können damit sehr große Entfernungen bis zu Tausenden von Kilometern ohne zusätzliche Infrastruktur überbrücken (Beyond-line-of sight (BLOS)).

### Taktische Data-Links

Taktische Daten-Links gehen über einfache Wellenformen hinaus und bilden Systeme zur Vernetzung kompletter Einheiten z.B. für Lagedaten. Hier wird zunächst ein TDMA-Verfahren (Time-Division Multiple Access) eingeführt um Zugriffe vieler Teilnehmer zu ermöglichen. Die Kanalbandbreiten erhöhen sich, höhere digitale Modulationsverfahren werden benutzt und die Datenraten liegen im Bereich von 100 kbit/s. Beispiele hierfür sind Link16 oder Link22.

### Proprietäre und zukünftige Wellenformen

Darüber hinaus existieren auch proprietäre Wellenformen (einschließlich COMSEC und TRANSEC) verschiedener Hersteller. So stellt z.B. Rohde & Schwarz die Wellenformen SECOS, SECOM und die moderne HDR-Familie zur Verfügung.

#### HDR Wellenformen:

- HDR-WB: Mobiles Netzwerk, hohe Datenraten, mittlere Reichweite.
- HDR-AJ-WB: Mobiles Netzwerk, mittlere Datenraten, mittlere bis hohe Reichweite, sehr immun gegen Jamming.
- HDR-AJ-NB: Bestmögliche Datenrate im taktischem VHF-Band, bestmögliche Reichweite, sehr immun gegen Jamming, geringer Bedarf an Spektrum

Der steigende Bedarf an schnellen Datenübertragung schlägt sich auch im militärischen Bereich durch. Zukünftige Wellenformen (im UHF-Bereich) sollen Datenraten von 10 MBit/s erreichen. Es gibt auch Bestrebungen zivile Standards wie z.B. LTE für taktische Netze zu übernehmen und für sicherheitsrelevante Informationsübertragung anzupassen.

## 1.3.2 Messparameter

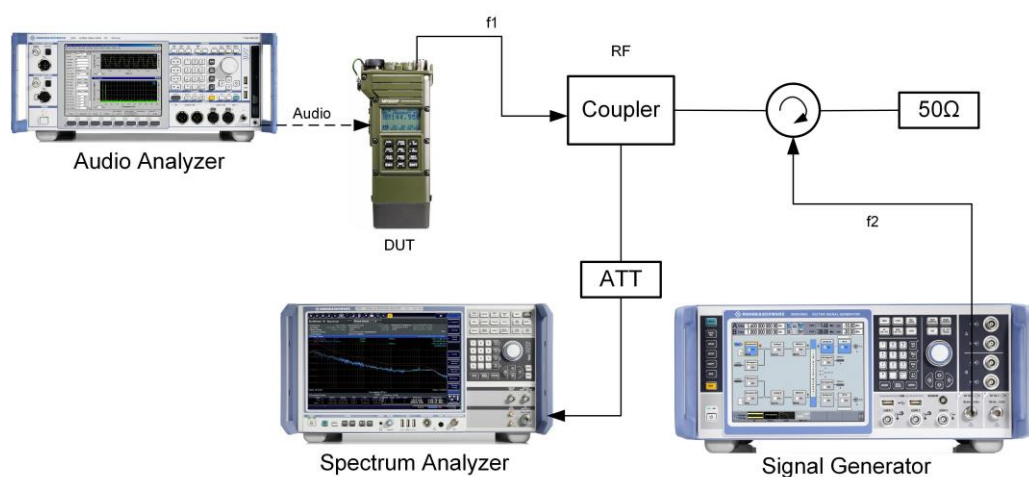
Ein Teil des Messens und Testens von Radios ist durch das Überprüfen von klassischen Parametern wie z.B. Leistung und Modulation abgedeckt. Für analoge Radios mit fester Frequenz in der NATO wurde bereits 1993 ein International Test Operations Procedure (ITOP) [1] festgelegt und standardisiert. Anforderungen wie spektrale Masken sind in einschlägigen Spezifikationen (NATO STANAGs) festgelegt. Dabei werden die Messungen sehr detailliert beschrieben und auch Testsetups definiert. Folgende Tests sind beschrieben:

Transmitter Tests
Output Power and Primary Power Consumption
RF Rise Time
Modulation Characteristics
Wideband Carrier Noise
Antenna Coupler Efficiency
Sidetone Characteristics
Frequency Accuracy and Stability
Occupied Bandwidth and Adjacent Channel power
Transmitter Harmonics and Spurious Emissions
Influence of Mismatched Loads
Intermodulation with other Transmitters

### Beispiel Sender-Test: Intermodulation mit anderen Sendern

Sind zwei oder mehr Sender räumlich nah (z.B. auf einem Fahrzeug oder auf einem Flugzeug) gleichzeitig in Benutzung, so können Intermodulationsprodukte entstehen. Ein starkes Signal eines Senders beeinflusst hierbei die Endstufe eines zweiten Funkgeräts.

Verpflichtend sind hier Messungen der Produkte 3. Ordnung, Produkte 2. und 5. Ordnung müssen nur bei entsprechender Relevanz einbezogen werden.



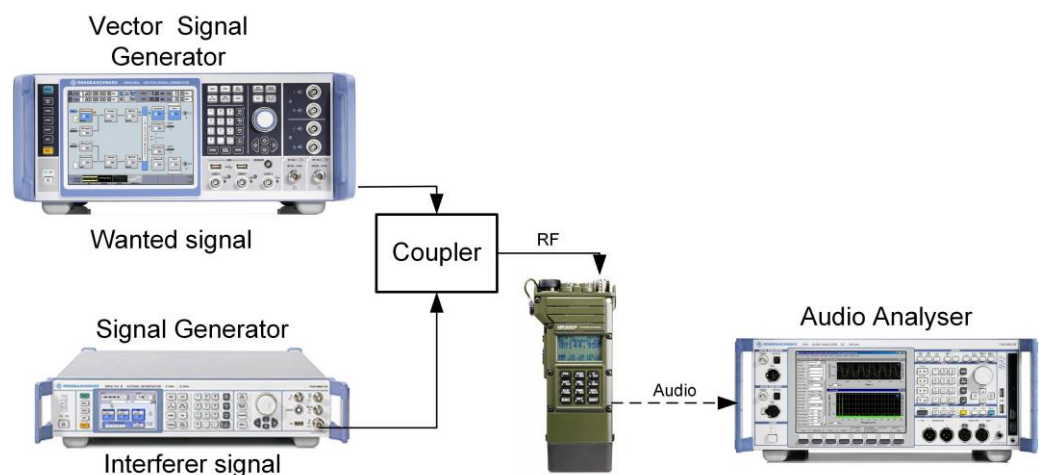
**Bild 6: Testsetup TX Intermodulation**

Die Frequenz  $f_1$  des DUT bleibt konstant, die Frequenz  $f_2$  des zweiten Radios wird variiert. Zu messen ist der Pegel des Produkts  $2f_1 - f_2$  relativ zum Pegel des DUTs. Der ermittelte maximale Pegel des Intermodulationsprodukts  $2f_1 - f_2$  ist anzugeben. Ein Grenzwert existiert nicht, aber die erzeugten Intermodulationsprodukte sollen den Empfang von einem auf derselben Plattform betriebenen Geräts nicht stören.

Receiver Tests
Receiver Sensitivity and Associated Characteristics
Demodulation Characteristics
Dynamic Sensitivity and Desensitization
Spurious response and IF rejection
Intermodulation Response (Out of Band)
Blocking
Oscillator Emission
Cross Modulation Rejection
Receiver Response Time

### Beispiel Empfänger- Test: Blocking

Ein starker Störer außerhalb des Kanals kann die Eingangsstufen eines Empfängers übersteuern und damit die Empfängereigenschaften verschlechtern. Dieses wird als Blocking bezeichnet.



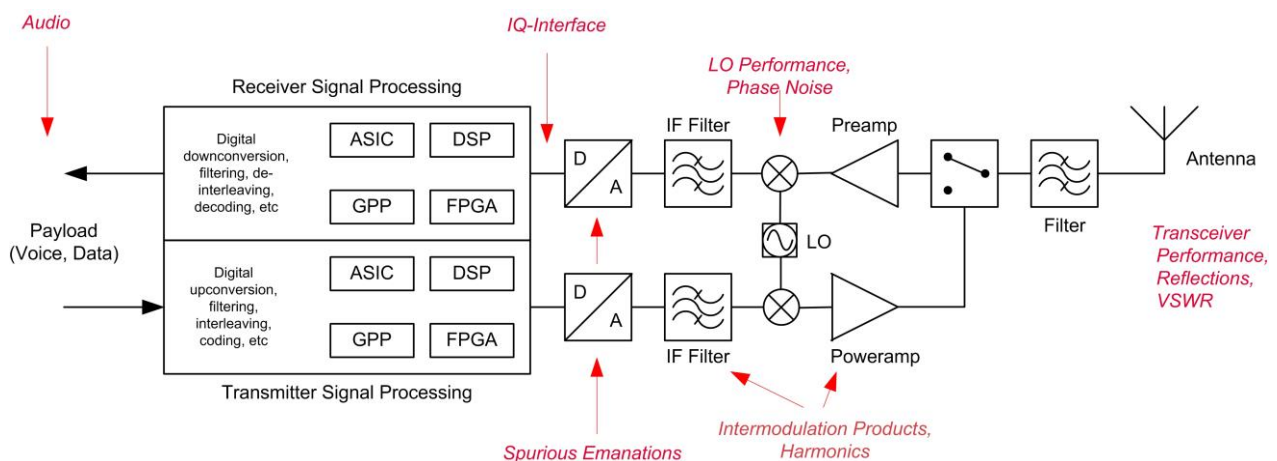
**Bild 7: Testsetup RX Blocking**

Für den Test wird zunächst mit einem Vector Signal Generator das gewünschte Signal erzeugt und mit einem CW-Störer, erzeugt von einem Signal Generator, überlagert. Jetzt wird die Frequenz des Störers in den gewünschten Schritten variiert. Für jeden Schritt wird der Pegel des Störers so eingestellt, bis SINAD bzw. der Audio Pegel um 3 dB reduziert sind. Ein Grenzwert existiert nicht.

## Digitale Wellenformen

Für digital modulierte Wellenformen gibt es keine vorgeschriebenen Verfahren, der prinzipielle Messablauf für die HF-Tests ist aber ähnlich.

Bild 8 zeigt noch mal das Blockschaltbild eines SDR, zeigt die wichtigsten Messparameter und deren Auftreten an. So sind im analogen Teil die Oszillatoren (LOs) und die Mischer Quellen von Phasenrauschen, nichtlineare Bauteile wie Verstärker und Filter erzeugen harmonische Spektralanteile. Auch die Antennen spielen eine wichtige Rolle im gesamten Funkgerät. In der Schnittstelle zwischen analogen und digitalen Teil sind die Digital-Analog-Converter (DAC) Quellen von unerwünschten Ausstrahlungen (Spurious Emanations). Liegen diese Störungen im Durchlassbereich der IF-Filter, werden sie entsprechend ausgesendet.



**Bild 8: Übersicht Messungen SDR**

Mit der zunehmenden Aufteilung in RF- und Basisband-Teil muss auch der Endanwender vermehrt Messungen abseits der eigentlichen HF-Technik durchführen. Tests müssen also auch am digitalen IQ-Interface durchgeführt werden.

Nicht zuletzt muss an der Schnittstelle zum Anwender auch die Sprachqualität überprüft werden.

## 1.4 SDR-Funkgeräte von Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz bietet im Bereich Sichere Kommunikation sowohl zivile, dual-use und militärische Funkgeräte an. Rohde & Schwarz bietet zwei Funkgerätefamilien, bestehend aus mehrerer Serien an:

- **SDxR** Die neue Software-Defined-Funkgerätefamilie, auf dem weltweit anerkannten Standard SCA 2.2.2 beruhend

Diese neue Funkgerätegeneration unterstützt moderne IP-basierte Funkverfahren und kann bis zu 10 Wellenformen ins Funkgerät laden. Dadurch wird einerseits Rückwärtskompatibilität mit eingeführten Funkssystemen, andererseits Investitionssicherheit für zukünftige Verfahren hergestellt.

Zur SDxR-Familie bietet Rohde & Schwarz eine innovative Wellenformsuite an:

- **HDR** High Data Rate Wellenformen, nach Einsatzszenario optimiert

Die bestehende Funkgerätefamilie M3xR sind proprietäre Software Defined Radios, die das komplette Einsatzgebiet im taktischen, stationären/schiffsgebundenen und fliegenden Bereich abdecken. Das x wird stellvertretend für die einzelnen Einsatzzwecke verwendet:

- **M3TR** Tactical Radios
- **M3SR** Stationary Radios
- **M3AR** Airborne Radios



**Bild 9: Funkgeräte der SDxR (oben) und der M3xR-Familie (unten)**

Alle Funkgeräte unterstützen alle standardisierten Wellenformen (Festfrequenz- und EPM-Wellenformen) sowie auch die von Rohde & Schwarz entwickelten Verfahren. Die SDxR Geräte erlauben darüber hinaus eine Portierung herstellerunabhängiger Verfahren.

### Stationäre Funkgeräte

Die M3SR Gerätefamilie für stationäre und schiffsgebundene Zwecke besteht aus zwei Serien:

- Serie 4100 HF, bis zu 1000 W, 19“
- Serie 4400 VHF/UHF, bis zu 100 W, 19“

Daneben gibt es noch eine rein für zivile Flugsicherungszwecke eingesetzte Serie 4200 (19“/2) in VHF und UHF Ausprägung (50 W) ohne militärische Wellenformen.

### Flugfunkgeräte

Für den Flugfunk (airborne) heißt die Familie M3AR und besteht aus drei Serien mit Leistungen bis zu 20 W AM / 30 W FM. Die Funkgeräte unterstützen militärische und zivile ATC und sind in verschiedenen Formfaktoren zugelassen für Strahl- und Propellerflugzeuge wie für Hubschrauber und unbemannte Flugzeuge (Drohnen).

- Serie MR6000L/R takt. VHF/VHF/UHF, 10 W, ARC 164
- Serie MR6000A takt. VHF/VHF/UHF, 20 W, ARINC 600
- Serie MR6000E VHF/UHF, 10 W, spezielles L-Shape für Eurofighter

Neues Mitglied ist das SDAR Funkgerät aus der SDxR-Funkgerätefamilie:

- Serie AR5000 takt. VHF/VHF/UHF, 20 W, ARINC 600

### Taktische Funkgeräte

Das SDTR ist das modernste taktische Radio der SDxR-Familie:

- SDTR Fahrzeug und semi-mobile, 30 - 512 MHz, 50 W ohne ext. Verstärker

Die Funkgerätefamilie M3TR besteht aus unterschiedlichen Formfaktoren vom Handfunkgerät bis zum im Fahrzeug verbauten Funkgerätesatz:

- MR3000P Handheld, 25 MHz...146 MHz, 5 W
- MR300xH Manpack, 1.5 MHz...108 MHz, 10 W (VHF), 20 W (HF)
- MR300xU Manpack, 25 MHz...512 MHz, 10 W (VHF/UHF)

Desweiteren gibt es umfangreiches Zubehör wie bspw. externe Verstärker mit denen die Leistung auf 50 W im VHF/UHF und bis zu 500 W im HF Bereich gesteigert werden kann.

Nähere Informationen zu den Funkgeräten der Familien SDxR/M3xR finden Sie auf unserer [Website](#).

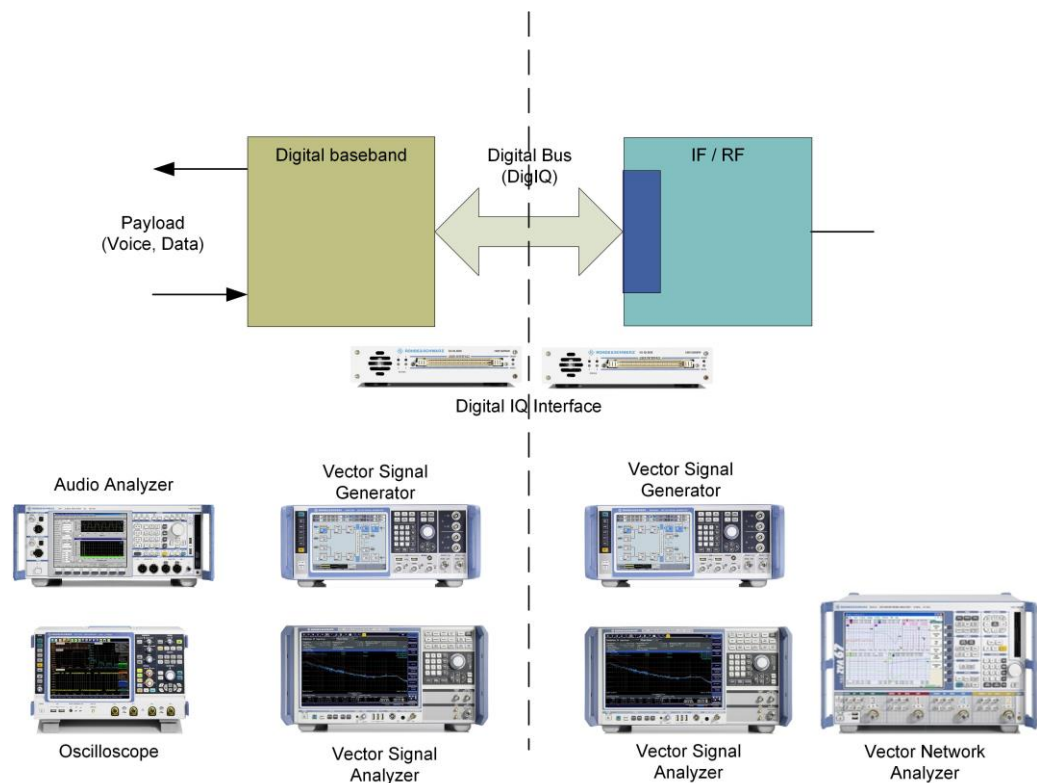


## 2 Messlösungen in Entwicklung, Produktion und Service

Rohde & Schwarz bietet neben militärischen Funkgeräten (siehe Abschnitt 1.4) auch ein großes Portfolio an entsprechenden Messinstrumenten vom (tragbaren) Spektrum- und Signal-Analysator über Vector Signal Generatoren bis zu kompletten Testsystemen an.

Bild 10 zeigt noch einmal die Aufteilung eines SDR in ein digitale BB-Modul und ein analoges TRX-Modul sowie die zu verwendenden Messgeräte. Für die analoge HF-Seite kommen die klassischen Messgeräte wie (Vektor) Signal Generator (VSG), Signal und Spektrum Analysator (VSA) und Vektor Netzwerk Analysator zum Einsatz.

Über eine digitale Schnittstelle werden VSA und VSG auf der digitalen IQ-Schnittstelle verwendet, um die beiden Module unabhängig voneinander testen zu können. Im digitalen BB-Modul werden hauptsächlich Kommunikationsbusse zwischen den einzelnen Prozessoren (General Purpose Prozessor, FPGA, DSP, ...) mit Hilfe eines Oszilloskopes getestet sowie die Audio-Schnittstelle zum Anwender mit Hilfe eines Audio Analysators geprüft.



**Bild 10: Übersicht der Verwendung der Messgeräte bei der Aufteilung in ein analoges TRX-Modul und ein digitales BB-Modul. Durch das digitale IQ-Interface (ExIQ-Box) lassen sich die gleichen Signale analog im HF-Bereich als auch digital im Basisband messen bzw. generieren.**

### EX-IQ-Box Digital Signal Interface Module (ExIQ-Box)

Ausgerüstet mit einer EX-IQ-Box ermöglicht ein Vektor Signal Generator von Rohde & Schwarz wie der SMW das Testen von digitalen Sende/Empfangsmodulen (oder anderen Komponenten) mit digitalen Basisband-Signalen. Damit können moderne Mobilfunkstandards wie z.B. LTE (wird auch als Basis für zukünftige militärische Kommunikation gehandelt), anwenderspezifische Signale, als auch zusätzliche Effekte wie Fading, AWGN oder I/Q-Impairments abgedeckt werden. Ein Signal Analyser von Rohde & Schwarz in Kombination mit der Ex-IQ-Box ermöglicht bewährte Analyse digitaler Komponenten.

Die EX-IQ-Box ermöglicht sowohl serielle als auch parallele Übertragung von I/Q-Signalen zu einem DUT mit einem anwenderspezifischen Protokoll, wobei flexible Taktmoden, verschiedene Datenraten als auch unterschiedliche Signalpegel unterstützt werden. Die physikalische Verbindung zum DUT ermöglichen direkt an die EX-IQ-Box angesteckte Adapter („Breakout Boards“). Die Schnittstelle zum DUT ist variabel (verschiedene logische Pegel wie LVTTTL, CMOS and LVDS), zwei standard Breakout Boards werden mitgeliefert (Single-ended und differentielle Signale). Zusätzlich sind jederzeit Erweiterungen (z.B. Breakout Boards für kundenspezifische Protokolle) möglich.



Bild 11: Frontansicht der ExIQ-Box

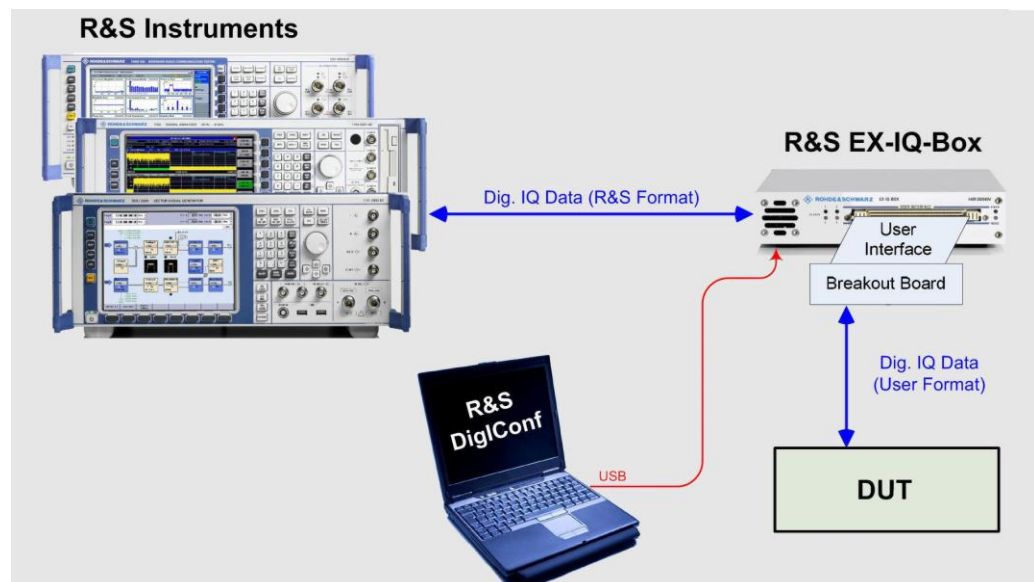
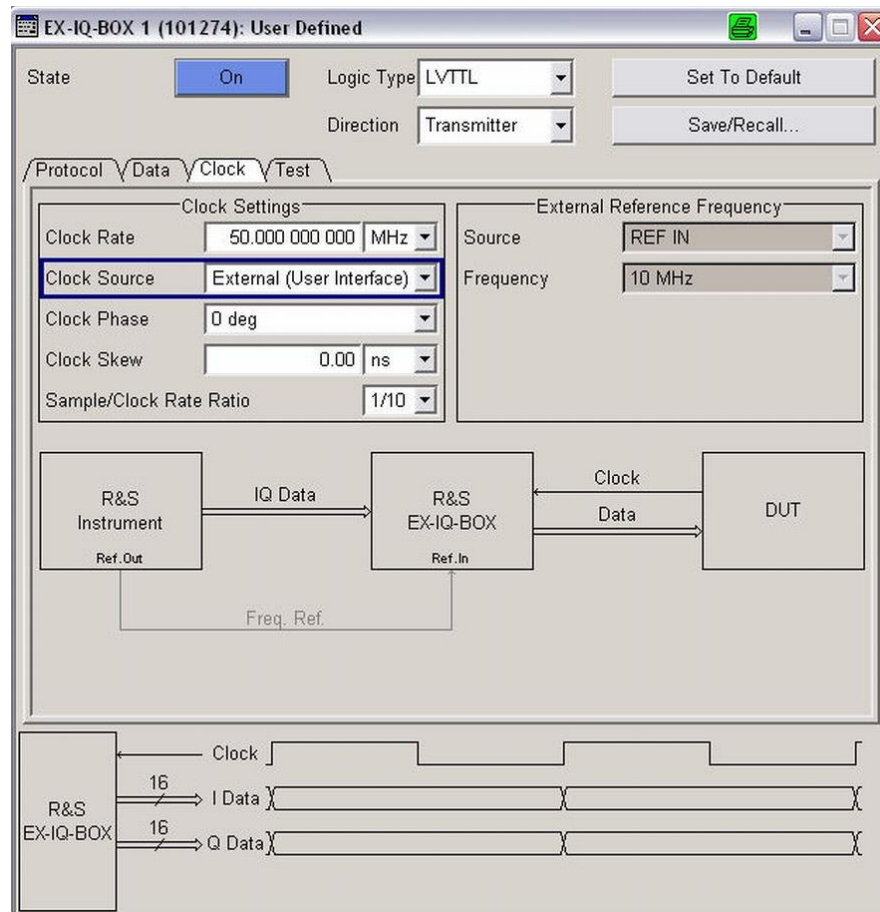


Bild 12: schematisierter Testsetup mit der Ex-IQ-Box



Die ExIQ-Box lässt sich sowohl an verschiedenen R&S-Instrumente anschließen und dabei direkt von den Instrumenten aus bedienen, als auch im „Stand-Alone“-Betrieb über eine PC-Software betreiben.

Die mitgelieferte PC-Software DigIConf ermöglicht eine benutzerfreundliche Bedienung (Bild 13).

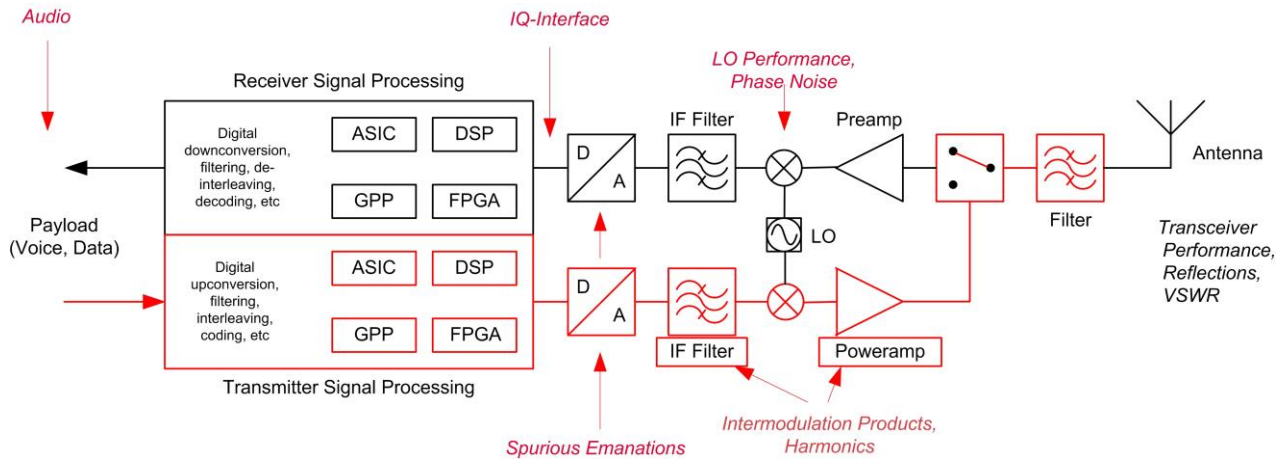


**Bild 13:** Beispiel für Einstellungen via der PC-Software DigIConf. Hier wird die logische Schnittstelle zwischen Ex-IQ-Box und DUT konfiguriert.

Für weitere Informationen beachten Sie die Application Note **Starting Successfully with the R&S®EX-IQ-Box** [16].

## 2.1 Messungen im Hoch- und Zwischenfrequenzbereich

### 2.1.1 Sendertests: Signal- und Spektrum-Analysator



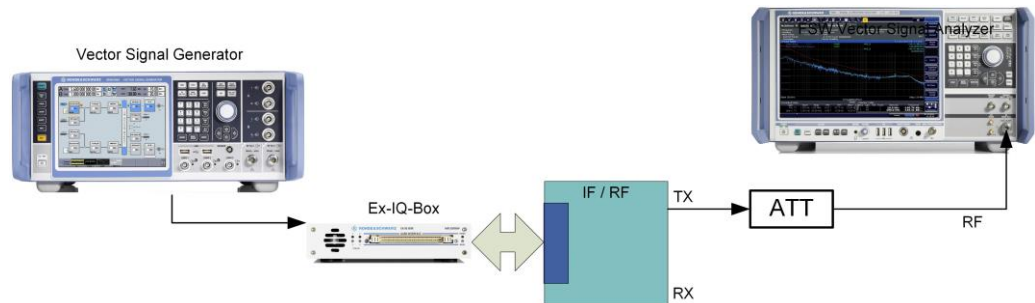
Sender (TX)-Tests bestehen aus zwei Hauptmessungen:

- Leistungs- und Spektrums-Messung
- Demodulation (analoge und digitale Modulationsarten)

Bild 14 und Bild 15 zeigen Testsetups für die TX-Messungen.



**Bild 14: Prinzipieller Aufbau des Sender-Tests. Der Analysator misst das TX-Signal des Funkgeräts über ein Dämpfungsglied. Als Eingangssignal kann z.B. ein Audio-Signal aus dem Audio-Generator des UPV benutzt werden.**



**Bild 15: Prinzipieller Aufbau des Sender-Tests, nur TRX-Modul. Der Analysator misst das TX-Signal des Funkgeräts über ein Dämpfungsglied. Als Eingangssignal ersetzt hier der SMW mit der EX-IQ-Box das BB-Modul und speist das TRX-Modul direkt über den digitalen IQ-Bus.**

Für die Leistungsmessungen allein bietet Rohde & Schwarz verschiedene Leistungsmeßkopf-Familien an:

- NRPxxS/SN Drei-Pfad-Dioden-Meßkopf: -70 dBm... +45 dBm, bis 50 GHz
- NRPxxT/TN Thermischer Meßkopf: -35 dBm... +20 dBm, bis 110 GHz
- NRP-Z Meßkopf: -60 dBm... +26 dBm, bis 26,5 GHz
- NRQ6 Frequenzselektiver Meßkopf, -130 dBm...+20 dBm, bis 6 GHz, 100 MHz Messbandbreite

Diese sind klein, leicht, einfach zu handhaben und besitzen eine Messgenauigkeit von typischerweise kleiner 0.1 dB. Sie sind auch mit USB-Anschluss erhältlich und können somit eigenständig an einem PC betrieben werden. Nähere Informationen entnehmen Sie bitte der Produktbroschüre [2].

Die Spektrums- und Signal-Analysatoren von Rohde & Schwarz liefern neben Leistungs- und Spektrumsmessungen (z.B. ACLR oder Occupied Bandwidth (OBW)) auch die Möglichkeit, sowohl analoge als auch digitale Signale zu demodulieren und zu analysieren.

Dabei steht ein weiterer Bereich von Analysatoren je nach Einsatzzweck zur Verfügung. Der tragbaren Handheld-Analysator FSH, die Mittelklasse FSV bis hin zur Top-Klasse FSW unterscheiden sich in ihrer HF-Performance und im unterstützten Frequenzbereich.

Folgende Aufstellung gibt einen Überblick:

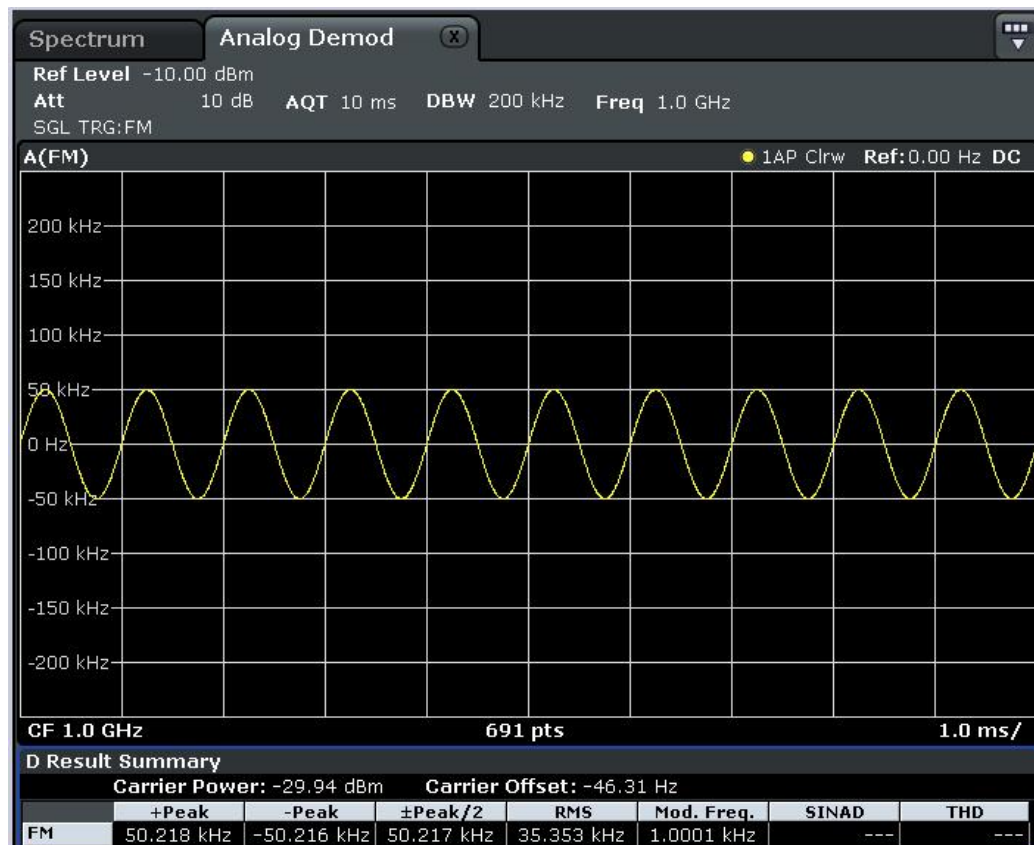
- Spitzenklasse
  - FSW Premium Segment, Spektrum + Signal Analysator, bis zu 5 GHz Signalbandbreite, bis 85 GHz
  - FSWP Phasenrauschmessplatz bis 50 GHz, Außerordentliche Performance in Dynamikbereich, Phasenrauschen, Genauigkeit, RBW
  - FSMR Messempfänger
- Echtzeit
  - FSVR Spektrum-, Signal- und Echtzeit-Analyse bis zu 40 GHz
- General Purpose
  - FSV(A) schneller Analysator bis 40 GHz
  - FPS kompakt und schnell für automatisierte Tests bis 40 GHz

- FSL                    Tragbarer Spektrum Analysator
- FPL1000            Tragbarer Spektrum Analysator
- Handheld
  - FSH                    Handheld Spektrum-Analysator für Feldeinsätze
  - FPH                    Handheld Spektrum-Analysator für Feldeinsätze
  - ZVH                    Handheld Kabel- & Antennen-Analysator

Alle Signal-Analysatoren bieten sowohl Spektrumsmessungen als auch die Demodulation und Analyse analoger Signale (AM, FM,  $\phi$ M) (Option K7 für FSx) als auch digitaler Signale (PSK, verschiedene QAM-Stufen). Mit Hilfe der allgemeinen Vector Signal Analyse (VSA)-Option K70 für FSx lassen sich flexibel fast beliebige Signale analysieren. Für die Analyse von Mehrträgerverfahren (OFDM) steht die Option K96 für FSx zur Verfügung. Die **VSE** ist ein PC-Programm zur Signalanalyse auf dem Desktop und steuert verschiedene Messgeräte an.

### Analoge Demodulation (K7 für FSx)

Für Messungen analog modulierter Signale steht für die Analysatoren die Option K7 zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe lassen sich auf einen Blick die wichtigsten Parameter von Amplituden- (AM), Frequenz- (FM) und Phasenmodulation ( $\phi$ M) anzeigen (Bild 16).



**Bild 16:** Beispiel für Messung eines frequenz-modulierten (FM) Signals mit der K7. Das Signal hat einen Hub von 50 kHz und ist mit einer Frequenz von 1 kHz moduliert. Zusätzlich werden im Tabellenbereich unten die Leistung und der Frequenzfehler des Signals angezeigt.

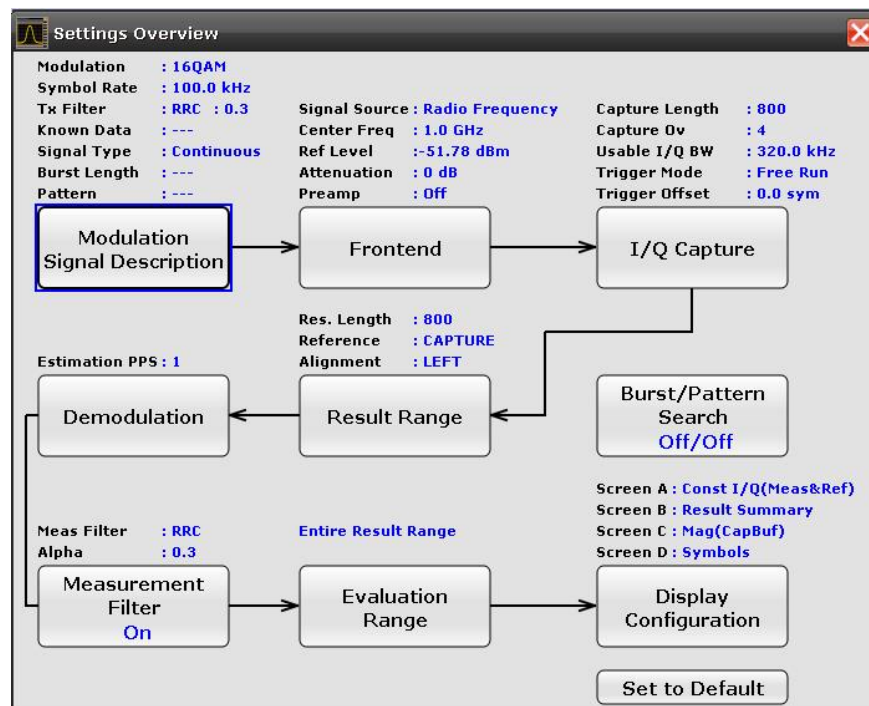
## Generelle Analyse digital modulierter Signale (K70 für FSx)

Für die Analyse digital modulierter Signale stehen standard-spezifische Optionen für die Analytoren zur Verfügung (z.B. von GSM, W-CDMA über LTE bis WLAN). Mit der Option für General Purpose Vector Signal Analysis (K70) lassen sich universell alle gängigen digital modulierte Signale unabhängig von Standards analysieren. Die Ergebnisse der Messungen wie

- Inphase- und Quadratursignale über der Zeit
- Betrag und Phase über der Zeit
- Augendiagramm
- Vektordiagramm
- Konstellationsdiagramm
- Tabelle mit Modulationsfehlern
- Demodulierter Bitstrom
- Statistische Auswertung der
- Modulationsparameter
- Spektrale Auswertung
- Verstärkerverzerrungsmessungen

werden optimal dargestellt.

Bild 17 und Bild 18 zeigen Beispiele für die Einstellung und die Ergebnisse für ein 16QAM-moduliertes Signal.



**Bild 17: Einstellungen in der VSA-Funktion: Hier lassen sich die Einstellungen beliebig an das zu messende Signal anpassen. Die Signalverarbeitungsbereiche lassen sich einzeln anwählen.**



**Bild 18:** Beispiel für die Analyse eines 16QAM-Signals mit der K70. Das Bild zeigt das Konstellationsdiagramm, eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse sowie den Symbol-(Bit-)stream.

Für weitere Informationen beachten Sie die Produktbroschüre [2].

### Generelle OFDM Vektor Signal Analyse (K96 für FSx)

Für die Analyse OFDM-(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) -Signale abseits bestehender Standards wie LTE, WiMAX, WLAN, DVB o.ä. stellt Rohde & Schwarz für die Spektrum-Analysator-Familie die Option K96 „OFDM Vector Signal Analysis Software“ zur Verfügung. Hiermit lassen sich die OFDM-Parameter wie z.B. FFT-Länge, Cyclic Präfix oder Frame-Characteristics usw. fast beliebig dem zu messenden Signal anpassen.

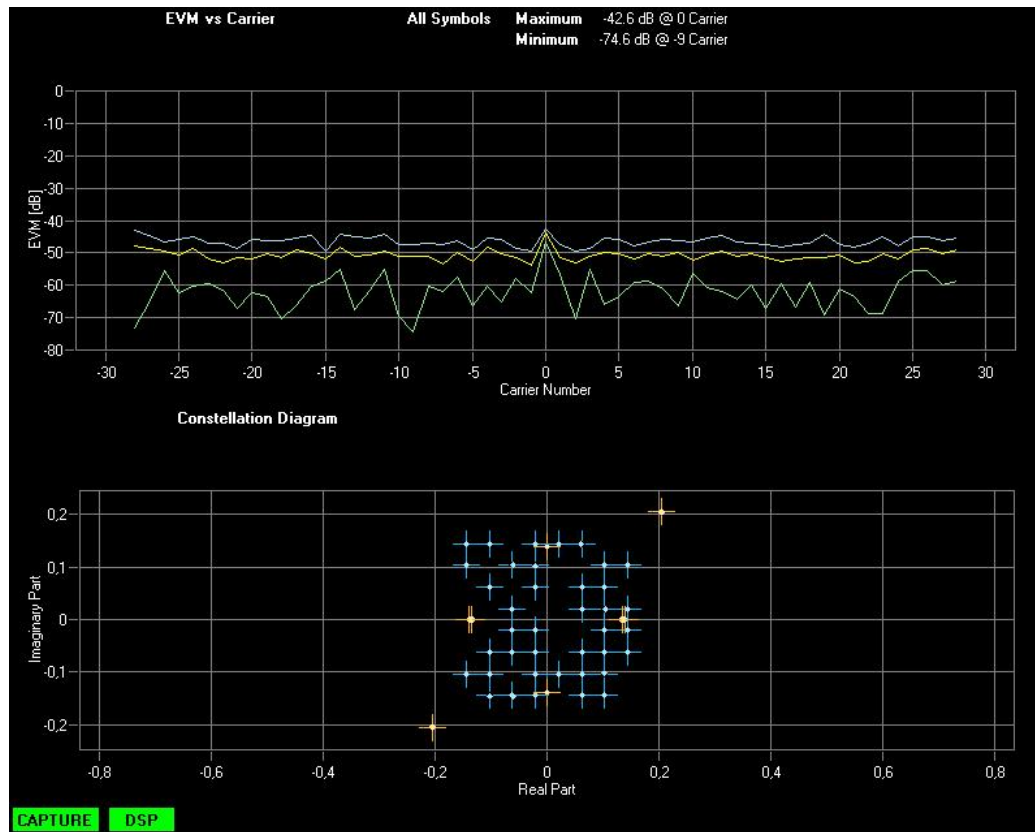
Die Option bietet die üblichen Messungen an wie:

- Power
  - vs. Träger
  - vs. Symbol
  - Spektrum
- EVM
  - vs. Träger
  - vs. Symbol
- Kanal-
  - Eigenschaften
  - Gruppenlaufzeit



- Impulsantwort
- Konstellationsdiagramme

Bild 19 zeigt beispielhaft eine EVM-Messung sowie die Darstellung als Konstellationsdiagramm an.



**Bild 19: Beispiel für eine Messung mit Option K96: oben EVM über Carrier; unten Konstellationsdiagramm**

Für weitere Informationen beachten Sie die Produktbroschüre [3].

### Echtzeit Spektrum- Analyse (FSVR)

Der FSVR bietet neben den vollwertigen Spektrum- und Signal-Analyse-Möglichkeiten der FSV-Klasse zusätzlich echtzeitfähige Spektrumsanalyse an, wie:

- Spektrogrammfunktion zur lückenlosen zeitlichen Darstellung des Spektrums („Wasserfalldarstellung“)
- Frequenzmaskentrigger (FMT) zur Triggerung der Messung durch einzelne, sporadisch auftretende Ereignisse im Spektrum
- Nachleuchtmodus (Persistence) zur Visualisierung der Häufigkeit von Signalen
- Leistung über der Zeit zur Analyse der Dauer/Zeitvarianz von Signalen
- Echtzeit-Streaming von I/Q-Daten zur Aufzeichnung langer HF-Sequenzen

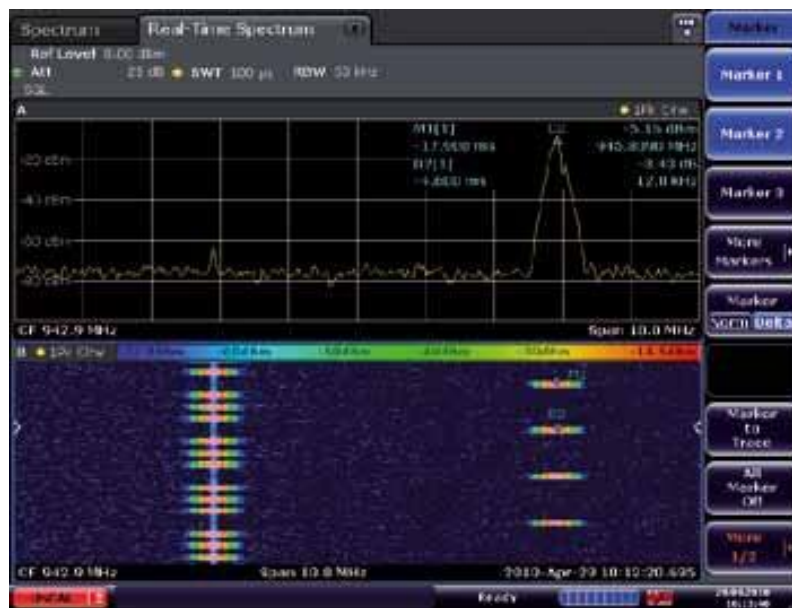


Bild 20: Spektrogramm mit dem FSVR, oben das aktuelle Spektrum, unten der zeitliche Verlauf

Mit Hilfe eines Frequenzmasken-Triggers (FMT) lassen sich einzeln auftretende Ereignisse analysieren. Verletzt ein Spektrum die vordefinierte Maske im Echtzeit-Betrieb, löst er ein Triggerereignis aus und stoppt die Messung sofort oder nach einer einstellbaren Nachlaufzeit. Die Daten, die das Triggerereignis auslösten, stehen zur detaillierten Untersuchung weiter zur Verfügung.

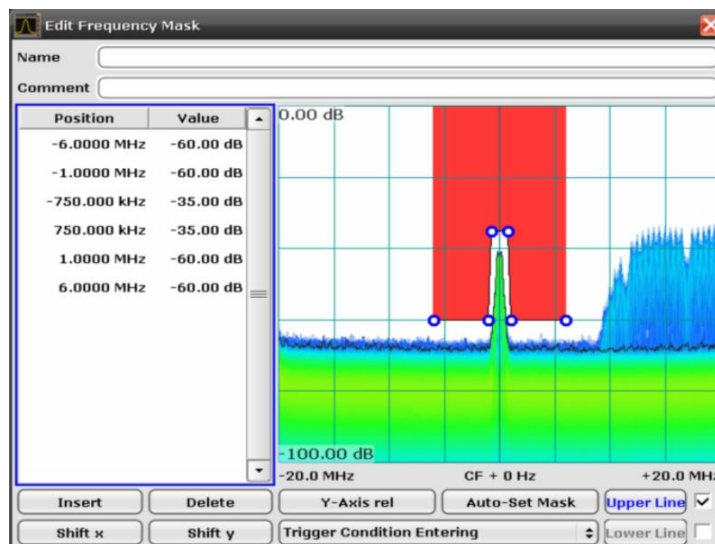


Bild 21: Einstellen einer Frequenzmasken-Triggers

Die FMT lässt sich im FSVR auch in verschiedenen Messapplikationen benutzen. So lassen sich z.B. mit der allgemeinen Vector-Signal-Analyse-Funktion (K70, siehe oben) die Daten direkt nach einem Frequenzsprung demodulieren und auswerten.

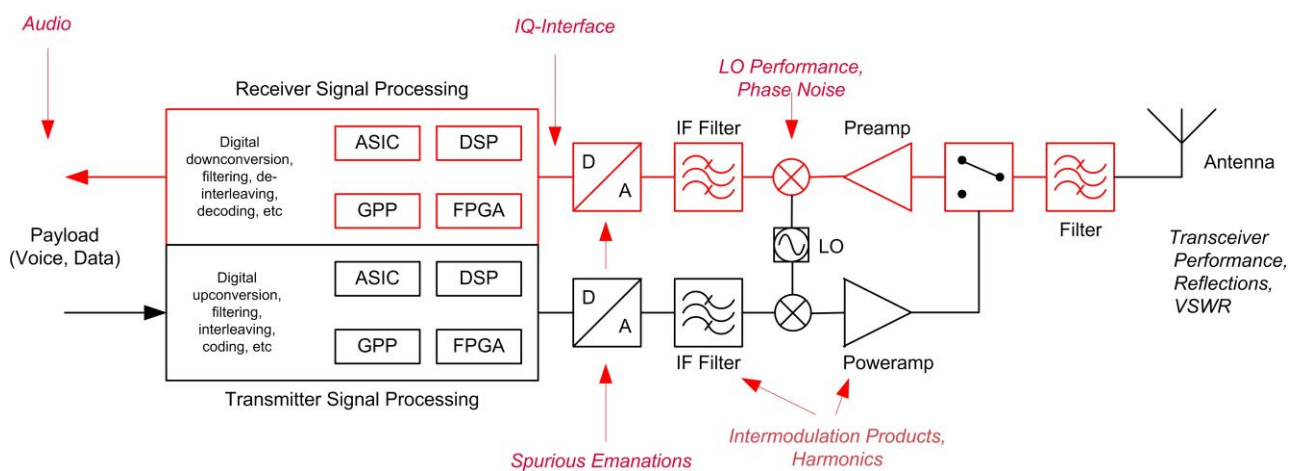


Mit der Hilfe des FSVR lassen sich also kurzfristige Phänomene aufspüren. Hier kann z.B. das Frequenzsprungverfahren eines SDR überprüft werden.

Für die cross-domain Analyse kann der FSVR mit Persistency und dem FMT mit einem Mixed-signal-Oscilloscope (MSO) wie dem RTO kombiniert werden, um kritische Fehler, die sich als Spektralfehler zeigen, zu detektieren. Diese Fehler können z.B. durch falsche Werte in Software-Filtern oder durch Senden vor Einschwingen der Hardware auftreten.

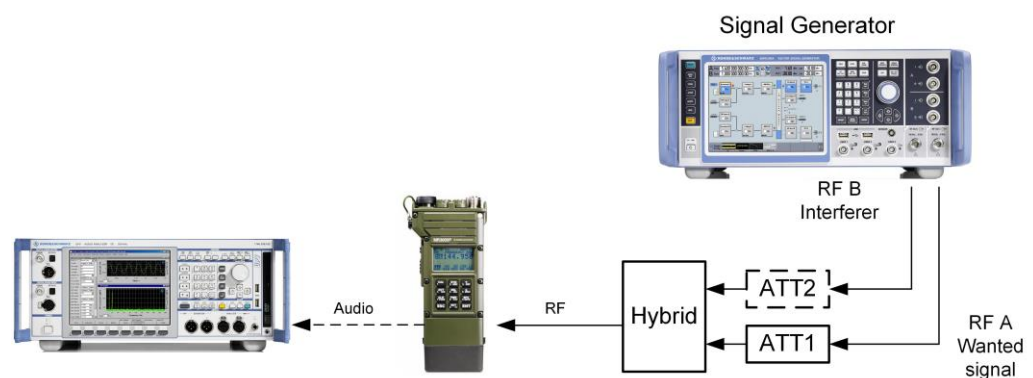
Für weitere Informationen beachten Sie die Produktbroschüre [9].

## 2.1.2 Empfängertests: Signal-Generatoren

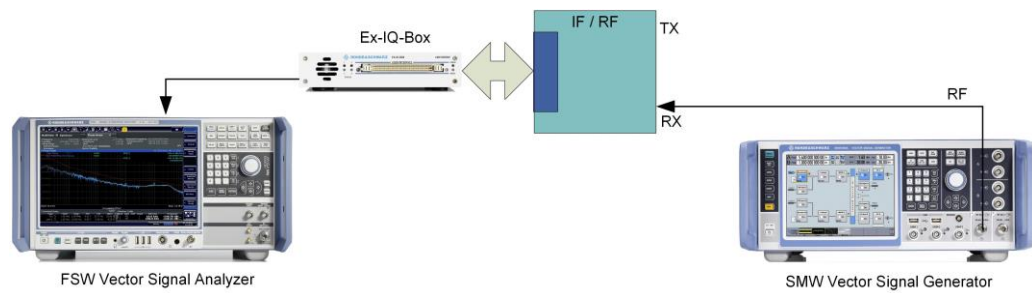


Empfänger-Tests werden mit Hilfe definierter HF-Signale durchgeführt. Für weitergehende Tests werden zusätzliche Signale (z.B. als Störer) benötigt.

Bild 22 und Bild 23 zeigen Testsetups für den RX-Test.



**Bild 22: Prinzipieller Aufbau des Empfänger-Tests. Der Signal-Generator erzeugt ein geeignetes HF-Signal für den Eingang des Funkgeräts. Mit Hilfe des Audio-Analysators des UPV lässt sich auch die Audioqualität überprüfen. Gleichzeitig benötigen einige Tests zusätzlich ein zweites HF-Signal als Störer (z.B. Blocking-Tests). Dieses lässt sich z.B. bequem mit dem zweiten Pfad des SMW erzeugen.**



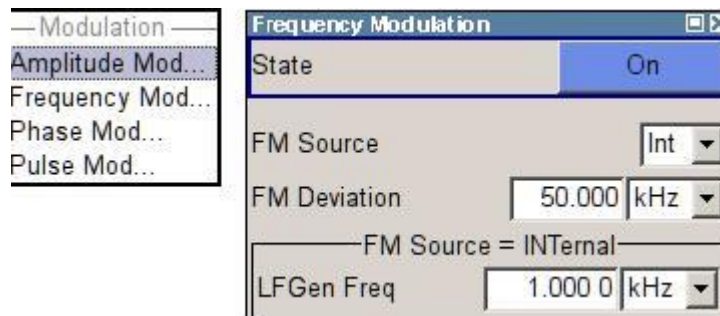
**Bild 23: Testaufbau für den Empfänger-Tests, nur TRX-Modul. Auf der digitalen Seite ist ein Vektor Signal Analysator direkt über die EX-IQ-Box an den digitalen IQ-Bus angeschlossen.**

Für Empfänger-Tests bietet Rohde & Schwarz ein umfangreiches Portfolio an Signal-Generatoren an. Es reicht vom kostengünstigen Generator bis zur Top-Klasse, von HF bis zur Mikrowelle, jeweils als analoger und digitaler Vektor-Signal-Generator. Folgende Aufstellung gibt einen Überblick:

- Vektor Digital
  - SMW200A Top-Klasse, bis zu 40 GHz und 2 GHz Modulationsbandbreite mit zwei Kanälen, mit MIMO und Fading, bis 8 Kanäle erweiterbar
  - SMBV100A/B Mittelklasse
  - SGS100A Kompakte und schnelle HF-Quelle für automatisierte Tests
  - SGT100A Kompakte und schnelle Vector-HF-Quelle für automatisierte Tests
  - SGU100A Kompakter und schneller Upconverter für automatisierte Tests
- Digitales Basisband
  - AFQ100A/B Premium ARB-Generator
  - Ex-IQ-Box Digitale Signalschnittstelle für Rohde & Schwarz-Instruments
- Analoge HF
  - SMA100A/B Ultrareine premium HF
  - SMB100A/B Kompakte Mittelklasse HF mit hoher Ausgangsleistung
  - SMC100 sehr kompakt, günstiger Preis
- Analoge Mikrowelle
  - SMF100A: Premiumklasse Mikrowellenquelle

Zusätzlich stellt der zweikanalige SMW als Optionen Echtzeit-Basisband-Fading, MIMO bis zu 4x4, 8x4 und AWGN zur Verfügung (siehe auch Abschnitt 2.5).

Analoge Modulationen können direkt im RF-Block (Vector Signal Generatoren) oder im Modulationsblock (analoge Generatoren) eingestellt werden (Bild 24).



**Bild 24: Einstellung der analogen Modulationen (links: Menu zur Auswahl der Modulation; rechts: Beispielseinstellungen für eine Frequenz-Modulation (FM))**

Digitale Signale können direkt am Gerät im Basisband-Block in Echtzeit erzeugt (Bild 25), oder als extern erstelltes ARB-File (z.B. WinIQSim2 oder Matlab) abgespielt werden.

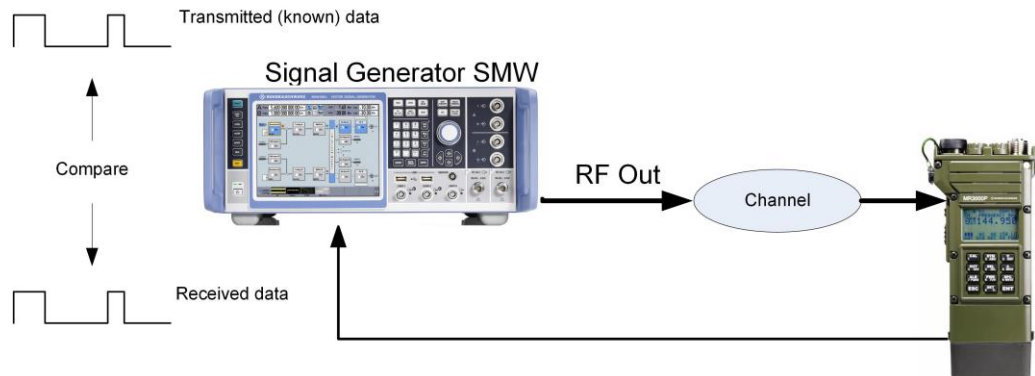
Bei Empfängertests mit digitalen Signalen wird üblicherweise die Bitfehlerrate (BER) als Qualitätsmerkmal herangezogen. Die Bitfehlerrate kann entweder direkt im Empfänger (sogenannte Single-Ended-BER) berechnet, oder bei Loopback-Szenarien auch direkt im SMW bestimmt werden (Option BERT).

The image shows a software interface for configuring digital modulations. On the left is a menu with categories: TDMA Standards (GSM/EDGE..., Bluetooth..., TETRA...), CDMA Standards (3GPP FDD..., CDMA2000..., TD-SCDMA..., 1xEV-DO...), WLAN Standards (IEEE 802.11...), OFDM Standards (EUTRA/LTE/IoT..., 5G NR..., V5GTF...), OFDM Signal Generation..., IEEE 802.16 WiMAX..., Satellite Navigation (GNSS...), Broadcast Standards (DVB...), Near Field Communication (NFC/EMV...), and Misc (Custom Digital Mod..., ARB..., Multi Carrier CW..., Extended Sequencer..., Power Sweep...). The main area displays two 'Custom Digital Modulation A' windows. The top window shows the 'General' tab with 'Modulation' set to QPSK and 'Filter' to Gauss (FSK). It includes a 'Power Ramp Control...' button and a 'Set according to Standard' dropdown set to 'User'. The 'Symbol Rate' is 100.000 000 000 Msym/s and 'Coding' is OFF. The bottom window also shows the 'General' tab with 'Modulation' set to QPSK and 'Filter' to Gauss (FSK). It features a constellation diagram and a 'State Modulation CW Switching' checkbox which is currently unchecked.

**Bild 25: Einstellung der digitalen Modulationen (links: Menu im Basisband-Block; rechts: Beispielseinstellungen für QPSK)**

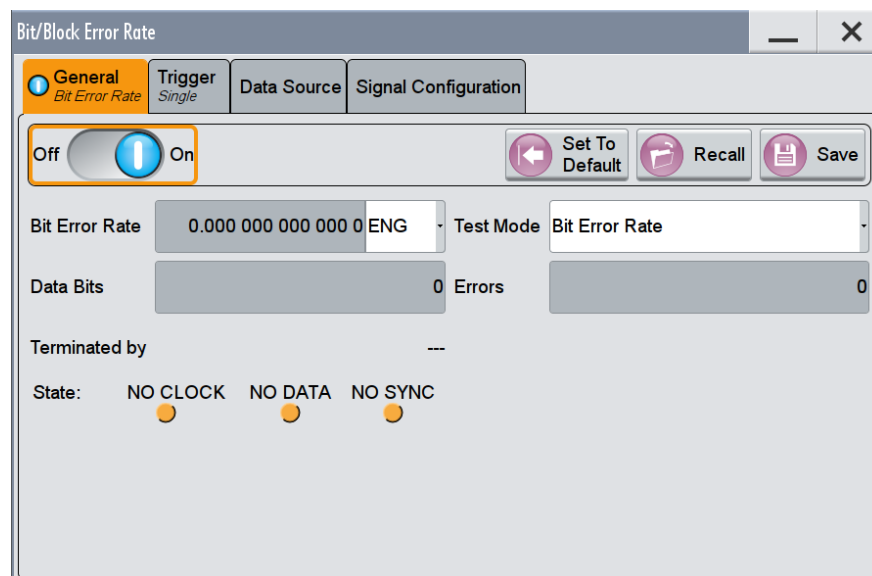
## BERT

Für die Messung der BER steht im SMW die Option K80 zur Verfügung. Sie ermöglicht eine direkte Bestimmung der BER und oder BLER im Generator. Dazu erzeugt der Generator eine pseudozufällige Bitsequenz (PRBS). Der Empfänger sendet die demodulierten Daten zurück an den Generator, der die zwei Datenströme vergleicht und daraus direkt die BER berechnet. Hier kann sowohl die Empfindlichkeit des Empfängers bestimmt werden als auch das Verhalten des Empfängers unter simulierten Kanalbedingungen (Fading, Störer) analysiert werden (Testsetup siehe Bild 26).



**Bild 26: Prinzip eines BER-Test mit dem SMW. Der Generator sendet bekannte Daten via HF zum Empfänger. Dies kann sowohl direkt, als auch unter Simulation eines Kanals (Fading, Störer) passieren. Das Funkgerät sendet die demodulierten Daten und den Takt zurück an den SMW, der die Daten vergleicht und daraus die BER berechnet.**

Die BERT-Funktion lässt sich über SETUP | General | Bit/Block Error Rate aufrufen.



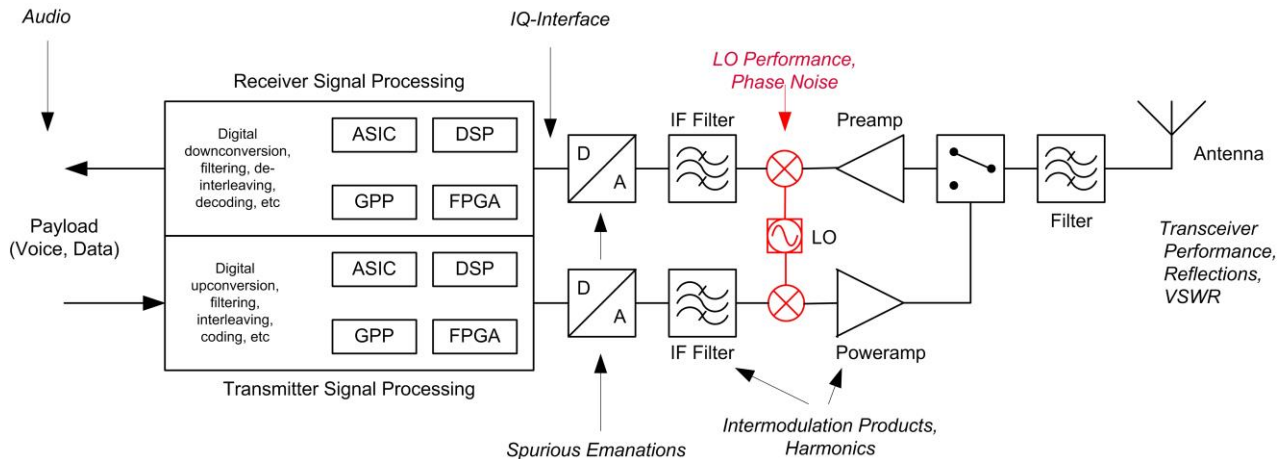
**Bild 27: Anzeige der BERT-Funktion des SMW. Auf einen Blick die BER, empfangenen Daten, berechnete Fehler sowie verschiedene Status-Anzeigen.**

Die zurückgemeldeten Daten des DUTs werden über eine Buchse auf der Rückseite dem SMW zur Verfügung gestellt. Das DUT muss dabei folgende Daten an den SMW übermitteln:

- Demodulierte Daten
- Takt
- Daten-Gültig-Signal
- Neustart-Signal

Die Funkgeräte können z.B. über eine Schnittstelle für den MILBUS 1553 angebunden werden.

### 2.1.3 Local Oscillator (LO) Performance



Der Local Oscillator ist maßgeblich an der Qualität des analogen Signals beteiligt. Besonders das Phasenrauschen des LOs ist zu beachten. Zusätzlich muss der LO in militärischen Radios auch schnelle Frequenzsprungverfahren ermöglichen und daher sehr schnell „einrasten“ können.

#### Messungen des Phasenrauschens

Hier steht mit dem FSWP ein spezieller Phasenrauschmessplatz kombiniert mit einem Signal Analysator zur Verfügung. Mit einer hervorragenden internen Quelle ergibt sich eine Empfindlichkeit von  $-172$  dBc (1 Hz) bei 10 kHz Frequenzversatz (Träger bei 1 GHz). Der FSWP bietet hierbei eine einfache Bedienung durch automatische Einstellungen und z.B. gleichzeitige Messung von Phasen- und Amplitudenrauschen an. Ist nicht die allerhöchste Messgenauigkeit nötig, so kann statt des FSWP auch ein Spektrumanalysator FSx mit der Option K40 verwendet werden.

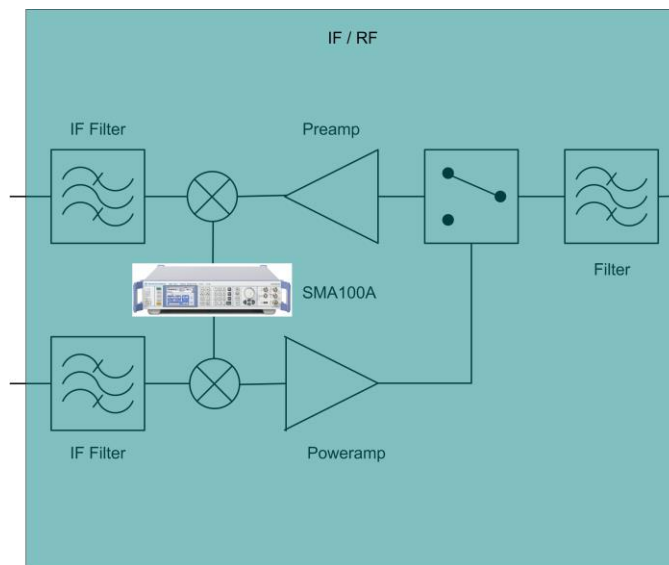


**Bild 28: Phasenrausch- mit gleichzeitiger Amplitudenrausch-Messung mit FSWP**

Für weitergehende Informationen beachten Sie die Produktbroschüre des FSWP [8].

### Simulation des LOs

Um das Verhalten des IF/RF-Teils des Radios zu überprüfen, lässt sich der LO durch einen Signalgenerator mit einem sehr gutem Phasenrauschen wie den SMA100A ersetzen. Hierbei können beliebige LO-Frequenzen simuliert werden (Testsetup Bild 29).

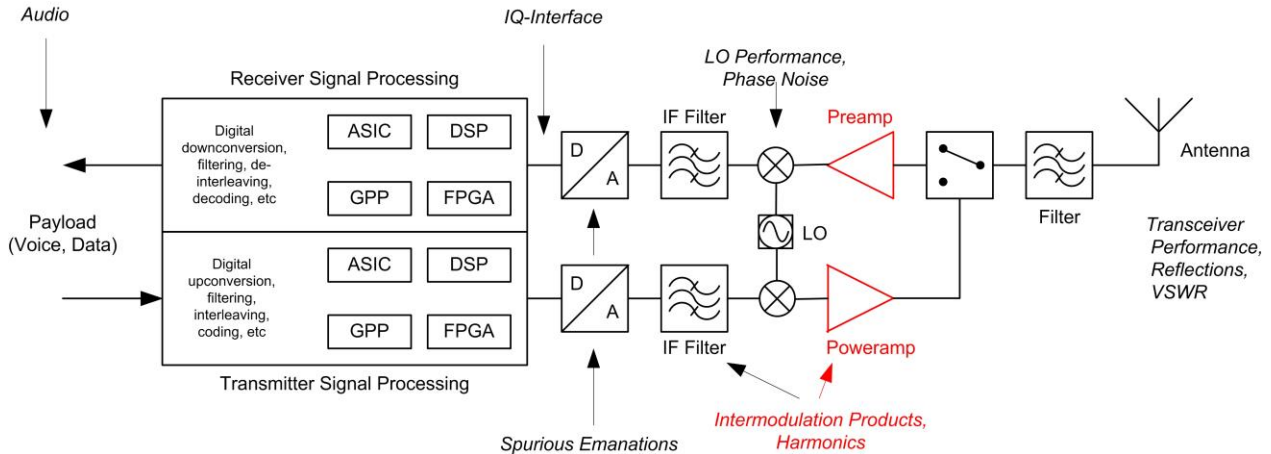


**Bild 29: Übersicht des IF/RF-Teils mit dem SMA100A als Local Oszillator**



Durch Verwenden von FM mit Rauschen als Modulation lässt sich die SSB Performance künstlich verschlechtern. Dadurch wird das Radio einem Stresstest unterzogen; die Grenzen des Entwurfs werden aufgezeigt.

### 2.1.4 Messungen an Verstärkern



Verstärker sind ein wesentlicher Bestandteil eines Radios. Sie sollen im Sende-Teils eine hohe Verstärkung garantieren und im Empfangs-Teil rauscharm verstärken.

Verstärker-Stresstest können auf einfache Weise mit Hilfe eines Vector Signal Generators wie z.B. den SMW durchgeführt werden. Dabei können entweder mit Hilfe des Online-Generators Waveforms oder extern erzeugte ARB-Files abgespielt werden. Zur Analyse stehen alle Spektrum Analytoren aus dem Portfolio zur Verfügung (Testaufbau siehe Bild 30). Alle Analytoren bieten hierbei die Möglichkeit der Auswertung mit der „Complementary Cumulative Distribution Function“ (CCDF). Außerdem lassen sich auch direkt die IQ-Werte auslesen.

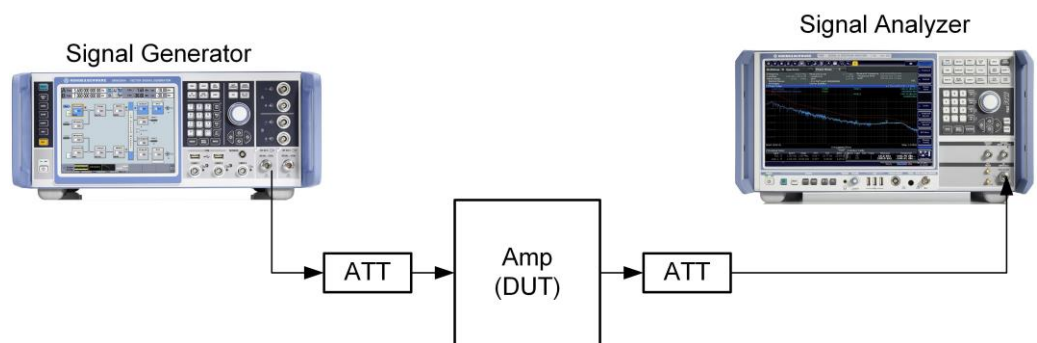


Bild 30: Testsetup für Messungen an Verstärkern

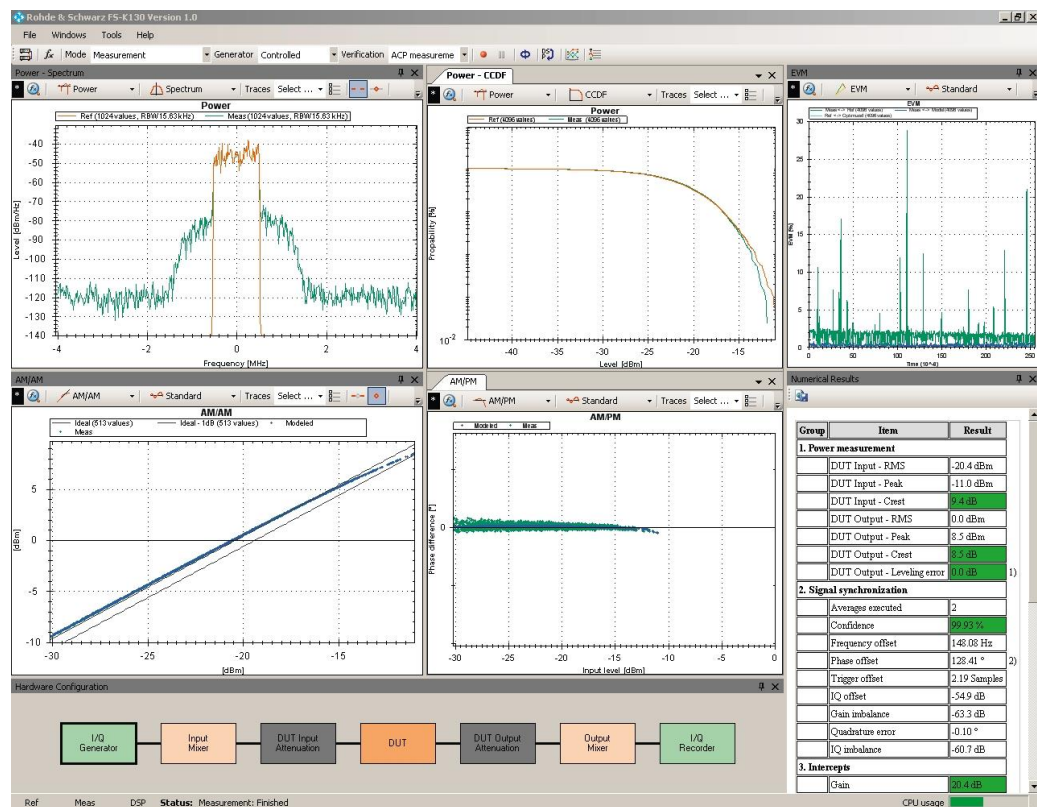


## Distortion Analysis Software (Option FS-K130PC)

Die „Distortion Analysis Software“ misst und modelliert lineare und nicht-lineare Verzerrungen von Verstärkern, Mischern und Basisband-Komponenten. Dies vereinfacht und beschleunigt die Entwicklung linearisierter Komponenten.

Die Software misst die Nichtlinearität und berechnet die nötige Vorverzerrung an Hand eines wählbaren Modells. Sie steuert auch die benötigten Messinstrumente wie Generatoren und Analysatoren und liest die I/Q-Daten aus.

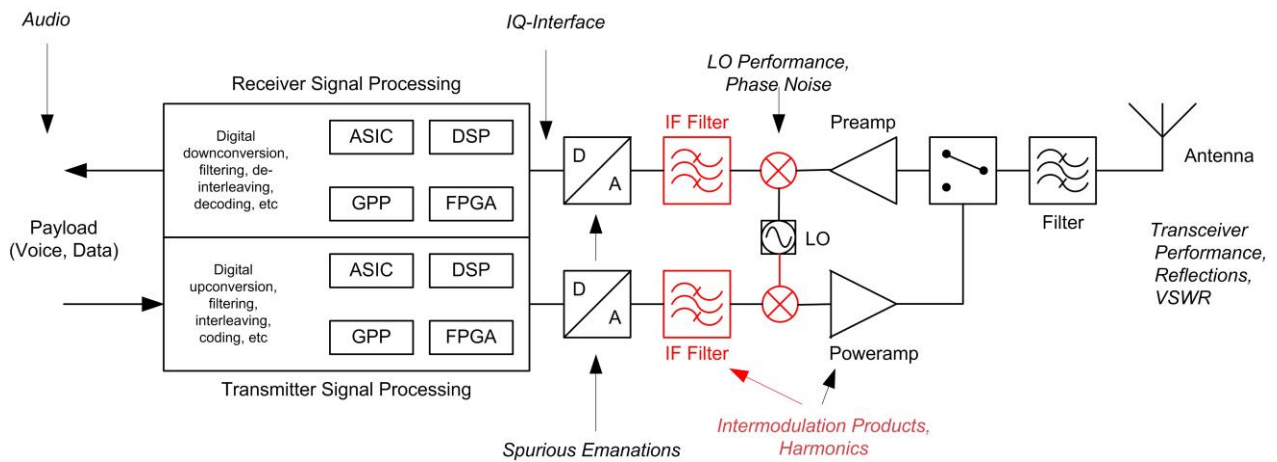
Bild 31 zeigt verschiedene Messungen.



**Bild 31: Beispiel einer Messung mit K130. Alle wichtigen Parameter lassen sich auf einen Blick ablesen.**

Für weitere Informationen beachten Sie die Produktbroschüre [5].

## 2.1.5 Messungen an Filter / Mixern

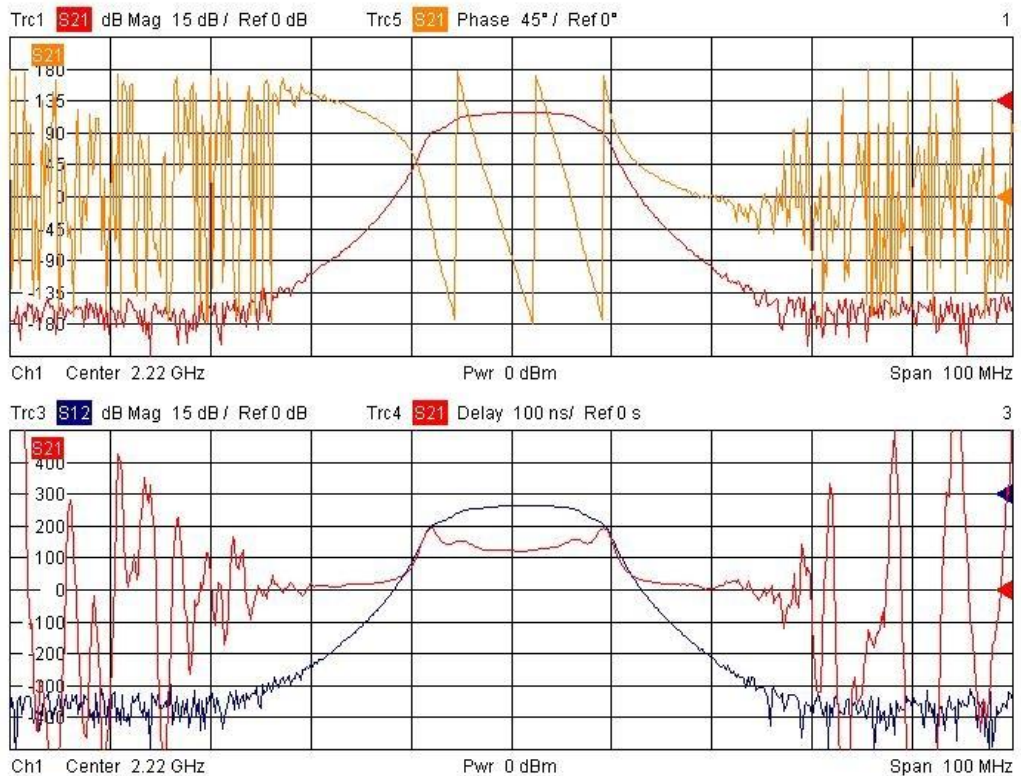


### Filter

Filter sollen unerwünschte Störungen außerhalb des benötigten Frequenzbands unterdrücken und so Empfänger vor Überlastung schützen. Im militärischen Bereich sind besonders oft sogenannte Co-Location-Sender (oder Co-Site) vorhanden, d.h., auf engem Raum sind zwei oder mehrere Sender vorhanden, die sich gegenseitig stören können. Daher werden oft Co-Site-Filter eingesetzt.

Die Filter sollen im Durchlassbereich möglichst wenig Dämpfung ausweisen, um z.B. die Empfängerempfindlichkeit hoch zu halten und eine hohe Dämpfung von Störern gewährleisten. Außerdem sind der Phasenverlauf sowie Laufzeit charakteristische Parameter (Beispiel siehe Bild 32).

Für die Messungen bietet Rohde & Schwarz Vektor Netzwerk Analysator (VNA) der ZVx-Familie an.



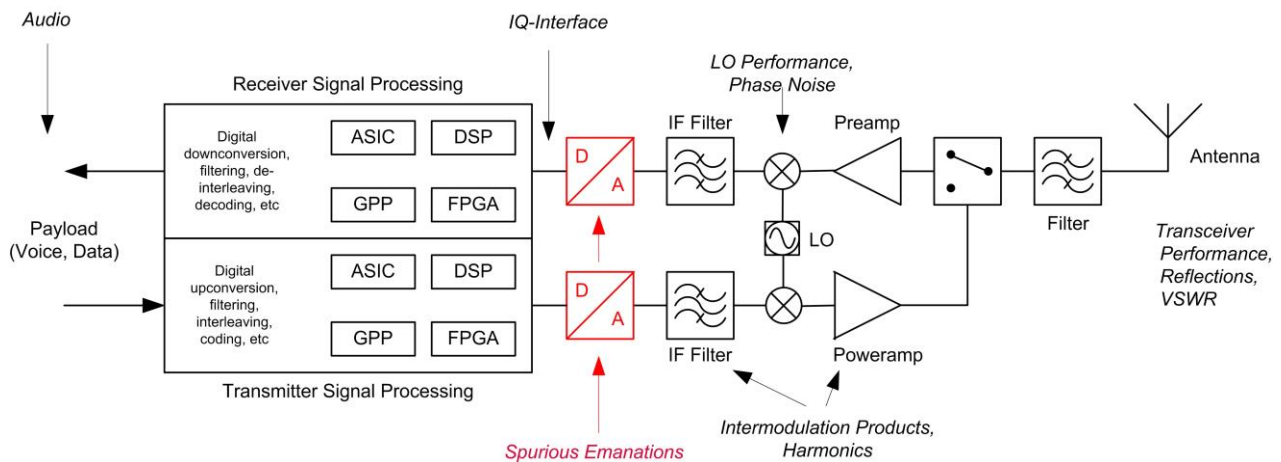
**Bild 32: Beispiel für Amplituden-, Phasen- und Delay-Verlauf eines Filters gemessen mit ZVA.**

## Mixer

Mixer sind nichtlineare Bauelemente und erzeugen viele störende Frequenzanteile. Zu messende Charakteristika sind der Dynamikbereich (IP3 und Kompressionsbereich) sowie die Dämpfung (conversion loss) und die Isolation zwischen LO, IF und RF. Gemessen wird üblicherweise mit einem Vector Signal Analysator wie dem ZVx. Der LO lässt sich entweder direkt über den ZVx oder über einen Signal Generator mit niedrigen Phasenrauschen wie dem SMA100A simulieren (siehe Abschnitt 2.1.3)

Für nähere Informationen siehe auch die Application Note [6].

## 2.1.6 Messungen an Analog-Digital-Umsetzern (ADC)



Analog-Digital-Converter (ADC) sind in digitalen Radios eine Kernkomponente als Verbindungsglied zwischen dem digitalen Basisband- und dem analogen HF-Teil.

### Signal-to-Noise-Ratio (SNR), Signal-to-Noise-and-Distortion-Ratio (SINAD) und Effective Number of Bits (ENOB)

Bei einem idealen ADC lässt sich der Zusammenhang zwischen Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) und Anzahl der Bits B folgendermaßen (gleich in dB) darstellen:

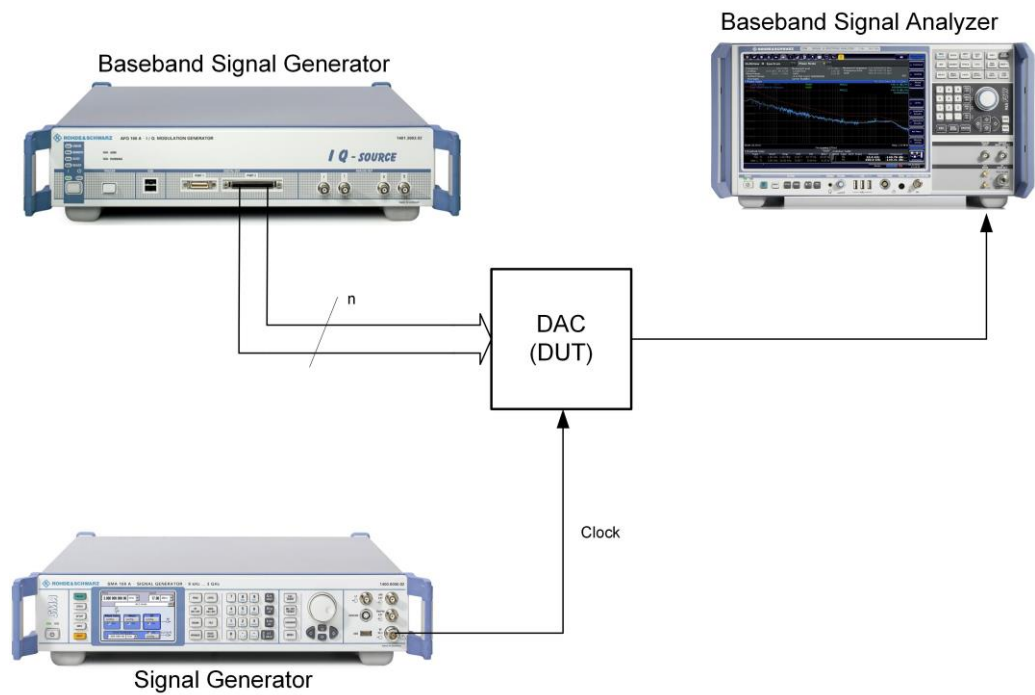
$$SNR_{dB} \approx 1.76 + 6.0 \cdot B \quad [17]$$

Reale ADCs sind nichtlinear und erzeugen somit Verzerrungen. Für die Güte eines realen ADCs müssen zusätzlich Rauschen und Verzerrungen mitberücksichtigt werden (SINAD). Aus dem SINAD lässt sich anschaulicher auch die Effective Number Of Bits (ENOB) angeben. Sie ist definiert als:

$$ENOB = (SINAD_{dB} - 1.76 \text{ dB}) / 6.02 \text{ dB}$$

### Messung DAC

Bild 33 zeigt einen möglichen Aufbau für einen DAC-Test. Hierbei überträgt ein Basisband Generator wie der AFQ ein vorher mit z.B. WinIQSim2 oder Matlab erzeugtes ARB-Signal über einen digitalen Bus (LVDS) zum DAC. Das Takt-Signal für den DAC wird mit einem Signal Generator mit sehr niedrigem Jitter wie dem SMA100A erzeugt. Das analoge Signal des DAC kann nun mit einem Analysator (Basisband-Eingänge) wie z.B. den FSW gemessen werden. Damit lassen sich vom DAC erzeugte Glitches leicht aufspüren.



**Bild 33: Testsetup für DAC-Tests**

Nähere Informationen finden Sie auch in der Application Note [7].

### Messung ADC

Für die Messungen an ADCs wird das Takt-Signal mit einem Signal Generator mit sehr niedrigem Jitter wie dem SMA100A erzeugt. Das analoge Eingangssignal wird mit einem Signal Generator erzeugt, abhängig vom gewünschten Signal z.B. mit einem SMW. Auf der digitalen Seite kann das Signal z.B. über die MSO-Option zusammen mit dem Oszilloskop RTx (siehe auch Abschnitt 2.2.1) überprüft werden (siehe Bild 34).

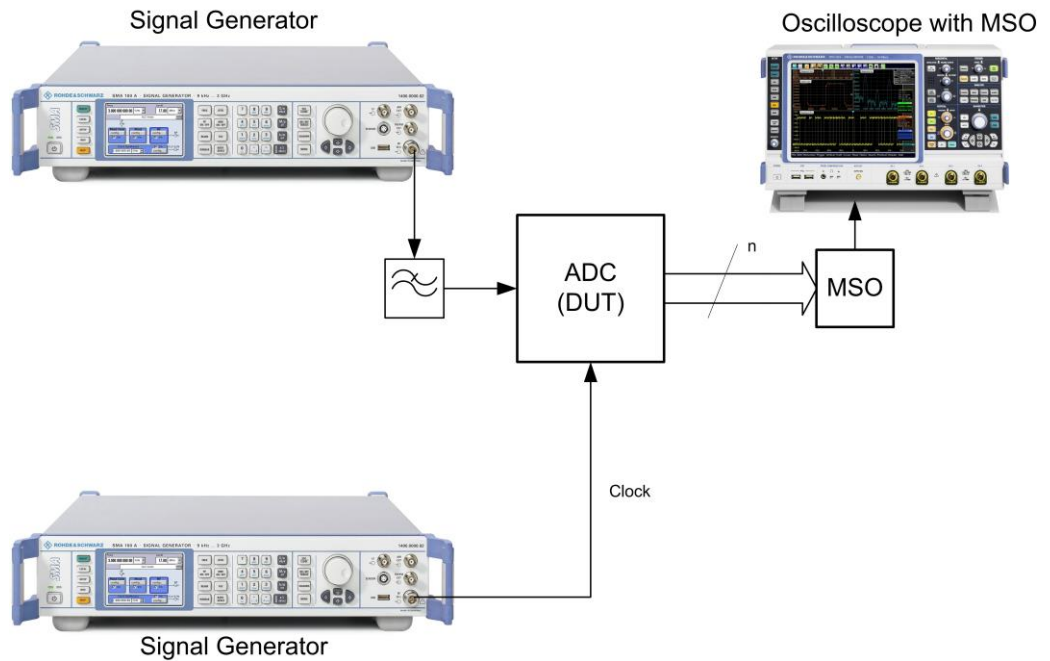
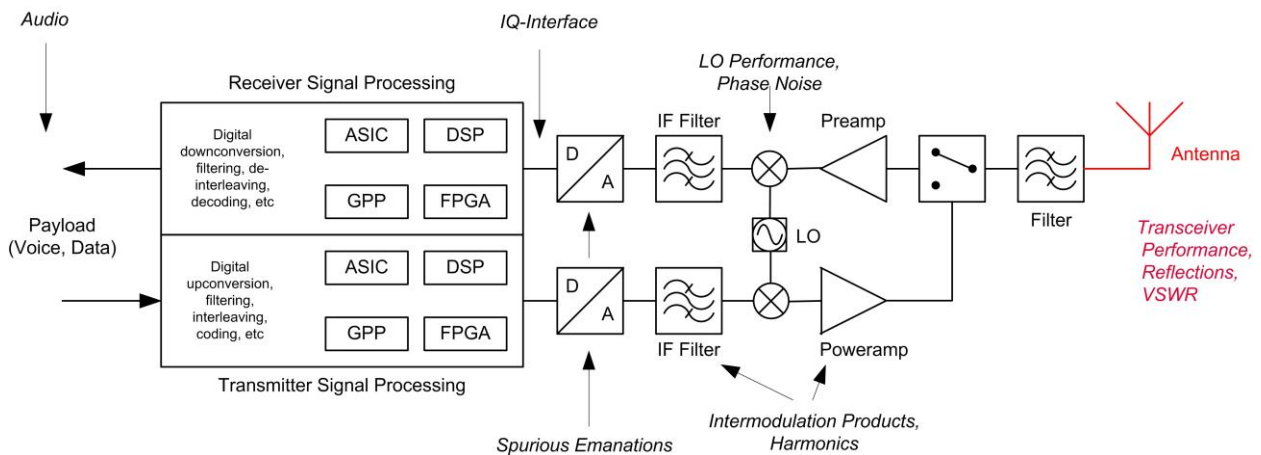


Bild 34: Testsetup für ADC-Tests

### 2.1.7 Antennen



Antennen sind als Übergang zum Übertragungsmedium Luft wesentliche Bestandteile eines Funkgeräts. Üblicherweise werden Messungen an Antennen in Messkammern mit Rotoren durchgeführt, um die Abstrahlcharakteristik in allen drei Raumdimensionen zu ermitteln.

Um Messungen nach Betrag und Phase zu erhalten, wird ein Netzwerkanalysator der ZVx-Familie verwendet.



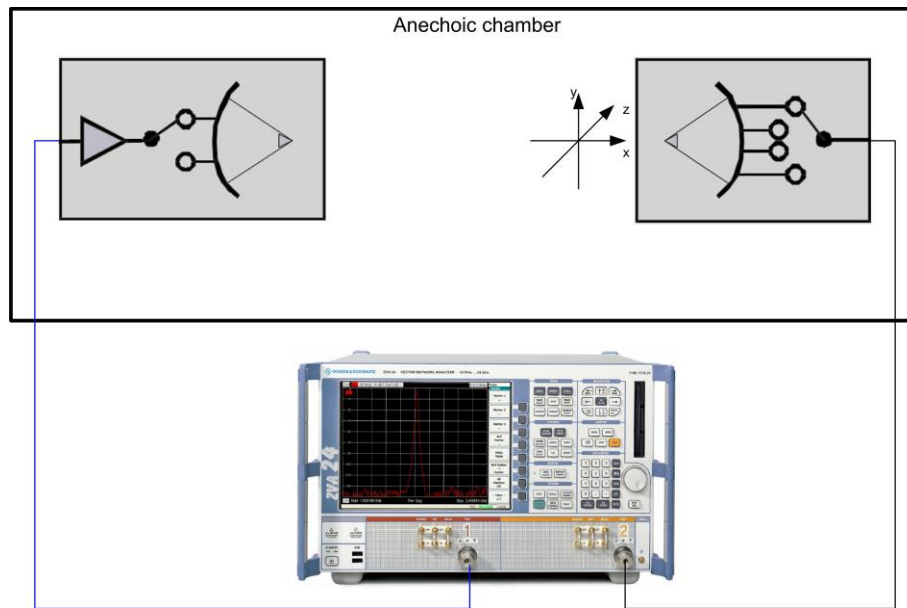
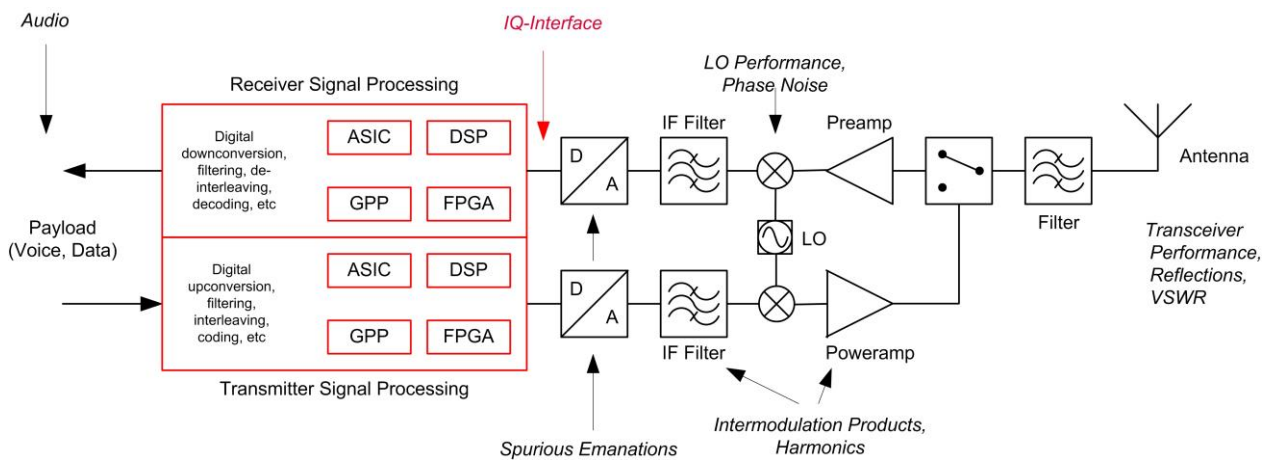


Bild 35: Typische Antennenmessungen mit einem Netzwerkanalysator

## 2.2 Messungen im und am Digitalen Basisband



Das digitale Basisband-Modul besteht aus verschiedenen Prozessoren wie GPPs, DSPs, FPGAs, den dazugehörigen Speicher wie Flash und/oder DDR-RAM, sowie den internen Kommunikationsbussen zwischen den einzelnen Komponenten. Dazu kommen Schnittstellen nach außen wie ein Audio-Interface oder ein LAN-Anschluss sowie eine digitale IQ-Schnittstelle oder Bussen mit geringer Geschwindigkeit zum Anschluss an das TRX-Modul.

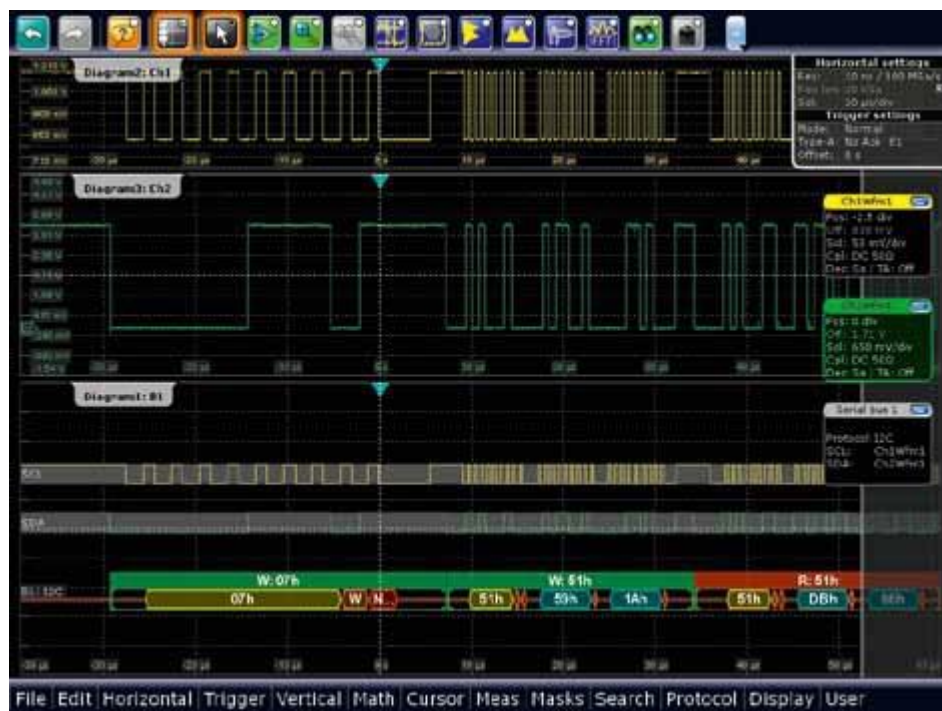
Hier läuft auch der Software-basierte Teil des SDR. Die einzelnen Komponenten entsprechen im Prinzip dem eines kommerziellen PCs oder eines embedded Systems. Die Konfigurationen und Tests finden mit Hersteller-spezifischen Tools wie z.B. Debug-Schnittstellen oder durch Softwaretests (wie z.B. Tests der RAMs durch Beschreiben und Auslesen mit speziellen Datenmustern) statt.

Wichtig sind hier auch Lasttests, d.h. eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der digitalen Hardware unter Worst-Case-Bedingungen. Da hier die derzeit aktuell unterstützten und geplanten Wellenformen nicht ausreichen, müssen evtl. eigens entwickelte, nicht standardisierte Wellenformen als Worst-Case-Szenario entwickelt werden.

## 2.2.1 Messungen an Kommunikationsbussen: Oszilloskop

Die einzelnen Komponenten des digitalen Moduls kommunizieren untereinander je nach verwendeten Prozessoren über verschiedene Kommunikationsbusse.

Rohde & Schwarz bietet eine breite Palette an Oszilloskopen (kurz RTx genannt) an. Neben den klassischen Oszilloskop-Eigenschaften wie Digitaler Trigger, hohe Acquisition rates, einem ADC mit einem hohen ENOB sowie einfacher Touch-Bedienung stehen auch Optionen zur Logikanalyse (Trigger + Decodierung) sowie für Compliance-Tests von Bussen zur Verfügung. Zusätzlich analysiert eine Option zum Mixed Signal Oszilloskope (MSO) 16 digitale Kanäle. Bild 36 zeigt ein Beispiel für eine Logikanalyse mit dem RTO.



**Bild 36:** Beispiel für eine Logikanalyse: Durch die hohe Acquisition-Rate werden Protokollfehler schnell gefunden

Folgende Protokolle stehen beispielhaft als Logikanalyse- bzw. Compliancetests-Optionen zur Verfügung:



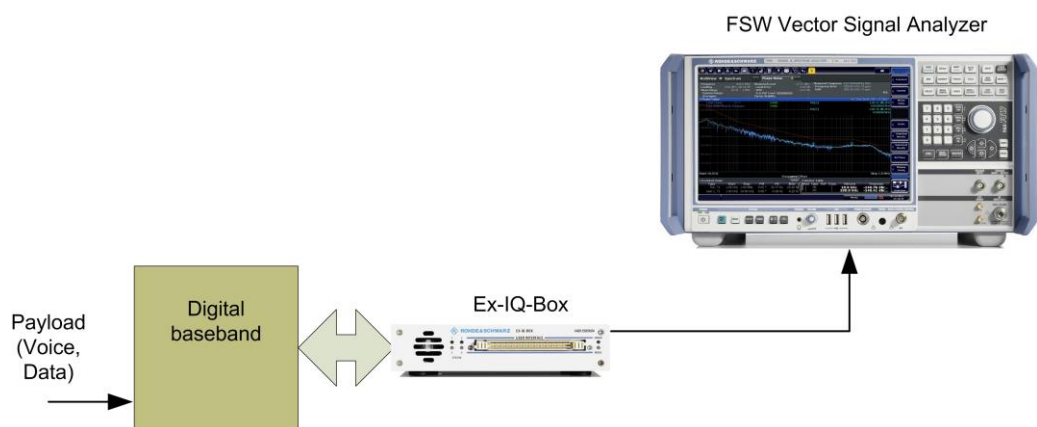
- I2C/SPI
- UART/RS-232
- CAN, LIN, FlexRay
- MIPI
- USB
- PCI Express
- DDR3
- Ethernet

Für nähere Informationen siehe auch unsere Webseite sowie auch den Flyer [10].

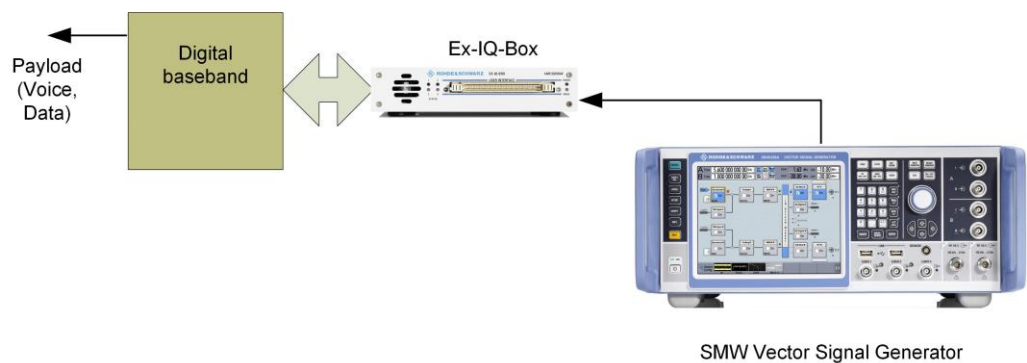
### 2.2.2 Anschluss an der digitalen IQ-Schnittstelle (Ex-IQ-Box)

Mit Hilfe der unter Abschnitt 2 beschriebenen digitalen Schnittstelle (Ex-IQ-Box) lassen sich verschiedene Messinstrumente an den digitalen Bus anschließen. Dadurch lässt sich das digitale Modul unabhängig vom analogen TRX-Modul testen. Die Mess-Optionen und damit die Bedienung der Signal Analyser sowie der Signal Generatoren bleibt damit gleich. Siehe dazu auch Abschnitt 2.1.1 und 2.1.2.

Bild 37 und Bild 38 zeigen die Testsetups für die Messungen am digitalen Modul.



**Bild 37:** Messung des "Sende"-Pfad des digitalen Moduls über die die Ex-IQ-Box mit einem Signal Analyser.



**Bild 38:** Messung des "Empfangs"-Pfad des digitalen Moduls über die die Ex-IQ-Box mit einem Signal Generator.

### 2.2.3 Messungen an der Audio-Schnittstelle

Sprache ist in der militärischen Funkkommunikation trotz zunehmenden Datenverkehrsaufkommen nach wie vor eine Hauptanwendung. Mit dem UPV bietet Rohde & Schwarz ein kompaktes Messgerät zur Generierung und Analyse von Audio-Signalen sowohl analog als auch digital an. Durch Bandbreiten im Generator bis zu 185 kHz und im Analysator bis zu 250 kHz lassen sich neben klassischen Sprachsignalen auch analoge Modemsignale prüfen.

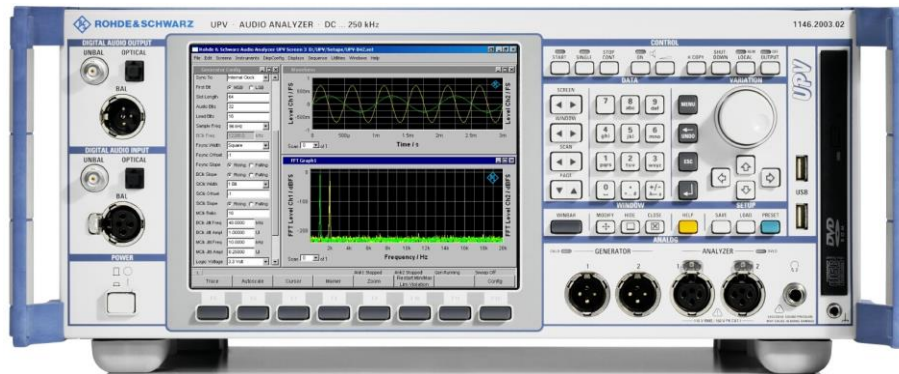


Bild 39: Der UPV Audio-Analysator

Die Hauptmerkmale des UPV sind:

- Analoge und digitale Schnittstellen
- Generator mit geringen Verzerrungen bis zu 185 kHz
- Zweikanaliger Generator bis zu 80 kHz
- Zweikanaliger Analysator bis zu 250 kHz Bandbreite
- Dynamikbereich: 140 dB analog, >170 dB digital
- Mehrkanaliger Analysator mit 40 kHz Bandbreite

Für nähere Informationen siehe auch die Produktbroschüre [11].

## 2.3 EMV-Tests

Alle elektrischen Geräte geben unerwünschte Ausstrahlungen sowohl über Leitungen wie z.B. der Stromversorgung als auch über die Luft ab. Die Geräte müssen daher verschiedene Spezifikationen zur Ausstrahlung wie z.B. CISPR 16 – „Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods“ einhalten. Zusätzlich können bei militärischen Funkgeräten unverschlüsselte Daten durch Übersprechen innerhalb des Funkgeräts von z.B. ADCs zu Leistungsverstärkern ungewollt zugänglich sein. Sogenannte MIL-STD geben die erlaubten Ausstrahlungen für militärische Funkgeräte vor.

Daher müssen verschiedene EMV-Tests an den leitungsgebundenen Schnittstellen als auch des Gesamtgeräts durchgeführt werden.

Rohde & Schwarz bietet dazu verschiedenen EMI-Receiver für Compliance und Pre-Compliance an, die ein komfortables Einhalten der verschiedenen Spezifikationen nach CISPR und MIL-STD gewährleisten:

Compliance:

- ESW beste Präzision, bis zu 44 GHz
- ESR bis zu 26,5 GHz (MIL-STD)

Precompliance:

- ESRP Entwicklung und Precompliance, bis zu 7 GHz
- ESL Kompakt, günstige Precompliance-Lösung bis zu 6 GHz
- ESR Precompliance bis zu 26,5 GHz (CISPR)

Außerdem ist noch ein komplettes, modular aufgebautes Testsystem TS9975 mit Schirmkammer, Testantennen und Software EMC32 für einen MIL-STD konformen vollautomatischen Testablauf bis 40 GHz verfügbar.

Für nähere Informationen siehe auch die Produktbroschüre [12].

## 2.4 Testsystem für die Produktion, Verifikation und Wartung

Die R&S UCS Radio Test System Familie ermöglicht Tests für verschiedene Ebenen wie Produktion, Verifikation, und Wartung aller Rohde & Schwarz-Funkgeräte (siehe Abschnitt 1.4). Die Familie benutzt eine einheitliche Software für die Bedienung:

- UCS-Base Radio Test Equipment:

Es eignet sich im Endtest für on-site maintenance, repair and overhaul tests. Außerdem lassen sich Funkgeräte nach einer Semi-Knocked-Down-(SKD)-Produktion überprüfen. Zudem lässt sich das System optional zu einem kompletten Produktionstest-System mit voller Testtiefe ausbauen. Es basiert auf dem UCS-System, das auch Rohde & Schwarz zu hausinternen Produktion von Funkgeräten benutzt.

- UCS-Compact Universal Radio Test Set:

Reduzierte Endtests (I-Level)

- UCS-Compact Universal Radio Test Set:

Funktionale Basis-Tests (O-Level)

Zur Zeit werden folgende Funkgerätefamilien unterstützt:

- SDxR
- M3xR

- Serie 4200

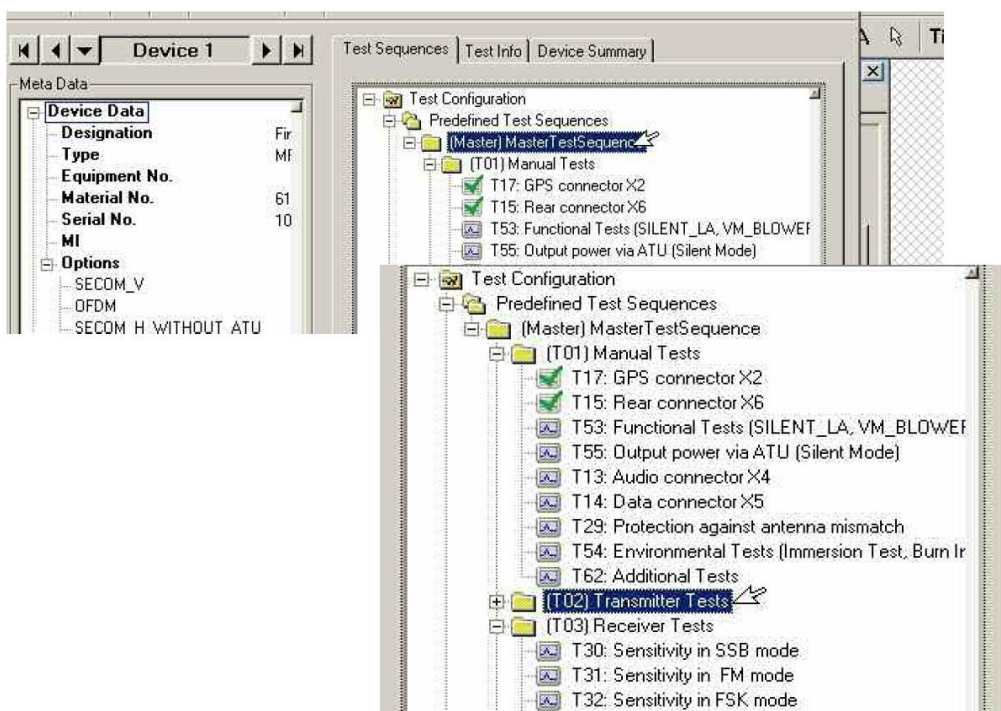


**Bild 40: UCS-Base**

Die UCS-Familie ist modular aufgebaut. Dadurch können sowohl Änderungen als auch (zukünftige) Erweiterung einfach durchgeführt werden.

Mit Hilfe zusätzlicher Referenz-Funkgeräten lassen sich auch EPM-Modus-Tests durchführen.

Die Bedien-Software ist intuitiv zu handhaben. Sie unterstützt sowohl vordefinierte Testsequenzen als auch anwenderspezifische Tests in einem klar strukturierten, grafischen User Interface.



**Bild 41: Beispiel für vordefinierte, vom Anwender auswählbare Testsequenzen**

Die Report-Funktion erlaubt eine übersichtliche Speicherung der Testdaten und eine Ausgabe der Daten mit Hilfe eines Druckers oder den Export in verschiedene Standardformate wie CSV, pdf usw.

Eine mächtige Statistikfunktion ermöglicht eine weitergehende Analyse der Daten.

Im Folgenden beispielhaft Auszüge aus einem Messreport (Bild 42 bis Bild 45):

GPS Functionality and GPS Antenna Connector X2, 6.4 .....	13
PEP in SSB Mode, 7.1.1.1 .....	13
Single Carrier Power in FM Mode, 7.1.1.2 .....	14
Power in Bypass Mode, 7.1.1.3 .....	14
Power at REAR Connector, 7.1.1.4 .....	14
Distortion Measurement in FM Mode, 7.1.2 .....	15
Frequency Accuracy, 7.1.3 .....	15
Two Tone Intermodulation Distortion @ 24VDC, 7.1.7 .....	16
Two Tone Intermodulation Distortion @ 20 VDC, 7.1.8 .....	16
Two Tone Intermodulation Distortion @ 33 VDC, 7.1.9 .....	16
Protection against Antenna Mismatch, 7.1.11 .....	17
Sensitivity in SSB Mode, 7.2.1.1 .....	18
Sensitivity in FM Mode, 7.2.1.2 .....	18
Sensitivity in A3E Mode, 7.2.1.3 .....	19
Weighted S/N Ratio, 7.2.6 .....	19

**Bild 42: Überblick (Teil 1) eines Messreports für ein Beispielfunkgerät**



<b>Frequency Response SSB, 7.2.7.1</b> .....	20
<b>Frequency Response FM, 7.2.7.2</b> .....	20
<b>FM - Wideband RX Frequency Response LINE Interface, 7.2.7.4</b> .....	20
<b>LINE Interface TX Frequency Response, 7.2.7.5</b> .....	21
<b>Image rejection, 7.2.8</b> .....	22
<b>IF Rejection, 7.2.9</b> .....	23
<b>THD Measurement, 7.2.10</b> .....	24
<b>Power Consumption, 8</b> .....	24
Receive-, Transmit- & Standby Mode, 8.1 - 8.3 .....	24
Power OFF Mode, 8.4 .....	24
<b>SECOM-V, 9.1</b> .....	25
<b>OFDM V/UHF Data Modem, 9.2</b> .....	25
<b>SECOM-P, 9.4</b> .....	25
<b>Test Completion - Necessary Procedures, 10</b> .....	26
Real time function, 10.1 .....	26
Erase Function, 10.3 .....	26

**Bild 43: Überblick (Teil 2) eine Messreports für ein Beispielfunkgerät**

<b>Single Carrier Power in FM Mode</b>						
<b>Test Document</b>		7.1.1.2				
Settings: Modulation F3E, RF -> Front to 50 Ohm						
no modulating Signal at Audio Input of Radio						
TX Frequency /MHz	Nom. /W	DL /dB	specified Power /W	Actual /W	MU /W	
VHF range:						
25.1	10	1.0	7.94 - 12.59	10.01	0.378	
42.1	10	1.0	7.94 - 12.59	10.00	0.378	
70.1	10	1.0	7.94 - 12.59	10.38	0.378	
107.9	10	1.0	7.94 - 12.59	10.21	0.378	
25.1	5	1.0	3.97 - 6.29	4.97	0.189	
25.1	2	2.0	1.26 - 3.17	1.96	0.076	
25.1	1	2.0	0.63 - 1.58	1.01	0.038	
25.1	0.5	3.0	0.25 - 1.00	0.52	0.019	
UHF Range:						
108.1	10	1.0	7.94 - 12.59	10.23	0.378	
185.1	10	1.0	7.94 - 12.59	10.01	0.378	
310.1	10	1.0	7.94 - 12.59	10.21	0.378	
502.125	10	1.0	7.94 - 12.59	10.31	0.378	
108.1	5	1.0	3.97 - 6.29	5.11	0.189	
108.1	2	2.0	1.26 - 3.17	2.04	0.076	
108.1	1	2.0	0.63 - 1.58	1.04	0.038	
108.1	0.5	3.0	0.25 - 1.00	0.53	0.019	

**Bild 44: Beispiel für einen TX-Test: Leistung eines modulierten Signals ohne Eingangssignal**

**OFDM V/UHF Data Modem**

Test Document 9.2

Settings: RF -> Front to 50 Ohm, TX Power = 10.0 W;  
Data Rate is set to 72 kbps

Result: Bit Error Rate (BER) at Data Terminal 1 of Radio

Test Freq. /MHz	DUT	Average RX Level /dBm	DUL /%	Actual /%	MU
30.1	Receive Mode	-92	1.0	0.00	{e}
30.1	Transmit Mode	-92	1.0	0.00	{e}
107.9	Receive Mode	-92	1.0	0.00	{e}
107.9	Transmit Mode	-92	1.0	0.00	{e}

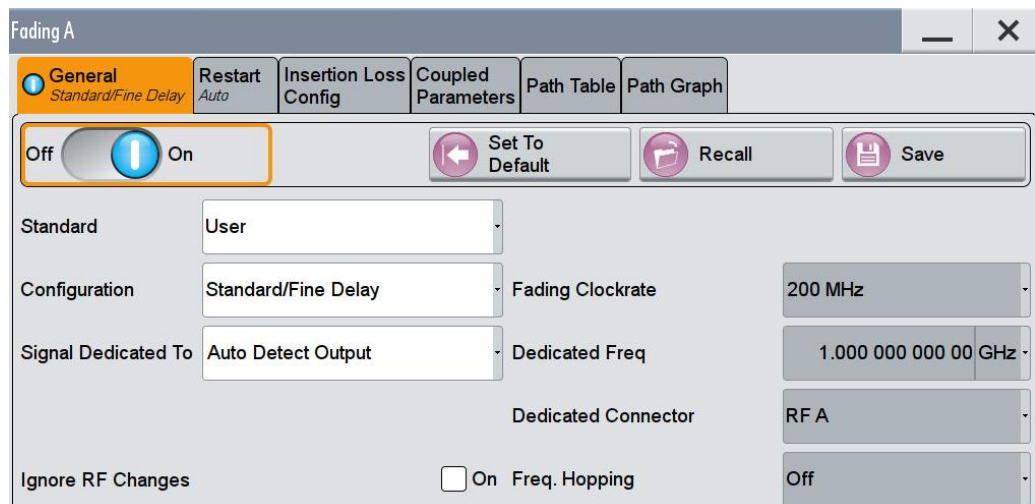
**Bild 45: Beispiel für einen RX-Test: Bit Error Rate (BER) eines OFDM Daten-Wellenform**



## 2.5 Kanalsimulator - Fading

Um Empfänger im Labor möglichst realitätsnah zu testen, bietet der SMW als Option (K71: Fading, K72: Extended Fading, K74: MIMO) einen (Baseband)-Fadingsimulator an. Dadurch können aufwändige Feldtests teilweise oder vollständig eingespart werden.

Insgesamt können bis zu 32 Fading-Kanäle mit jeweils 20 Pfaden mit einer Bandbreite von 160 MHz und einer Auflösung von 10 ns simuliert werden. Für eine bessere zeitliche Auflösung (5 ps) können sowohl die Bandbreite als auch die Anzahl der Pfade verringert werden. Da der SMW bis zu acht (mit externen Geräten wie z.B. den SGS) HF-Pfade unterstützt, können sowohl Empfänger-Szenarien mit bis zu acht Antennen wie RX-Diversity oder MIMO (zum Beispiel 4x4 oder 8x2) simuliert werden. Bild 46 und Bild 47 zeigen allgemein Fading-Einstellungen sowie die Pfad-Parameter.



**Bild 46:** Beispiel für Fading-Einstellungen im SMW.

	Unit	1	2	3	4
State		On	Off	Off	Off
Profile		Rayleigh	Rayleigh	Rayleigh	Rayleigh
Path Loss /dB		0.000	10.000	10.000	10.000
Basic Delay /µs	µs	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
Additional Delay /µs	µs	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
Resulting Delay /µs	µs	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
Const Phase /Deg	Deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Bild 47: Einstellen der einzelnen Pfad-Parameter

## RF Fading

Die meisten Empfängertests lassen sich mit dem Baseband-Fading abdecken. Es gibt aber weiterführende Applikationen, bei der Fading in der Hochfrequenz nötig ist. Hierunter fallen z.B. Tests von Funkgeräten im EPM-Modus.

Dazu wird ein Spektrumanalysator und ein Signalgenerator zusammenschaltet (siehe Bild 48)

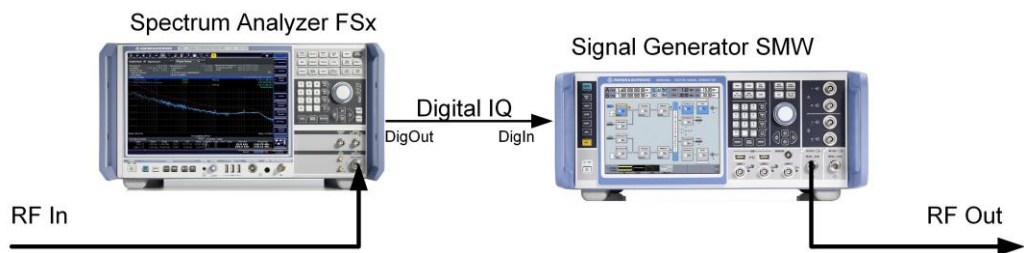


Bild 48: RF Fading mit einem Spektrumanalysator und einem Signal Generator. Die vom FSx gesampelten IQ-Daten werden über eine digitale Schnittstelle zum SMW übertragen, hier gefadet und wieder auf die ursprüngliche Frequenz gemischt.

Hierbei sampelt der FSx das HF-Signal und stellt die IQ-Daten über eine digitale Schnittstelle dem SMx zur Verfügung. Der SMW führt jetzt Fading im Basisband durch und mischt das Signal wieder auf die ursprüngliche Frequenz.

Die einzelnen Instrumente unterstützen folgende Modulations-Bandbreiten:

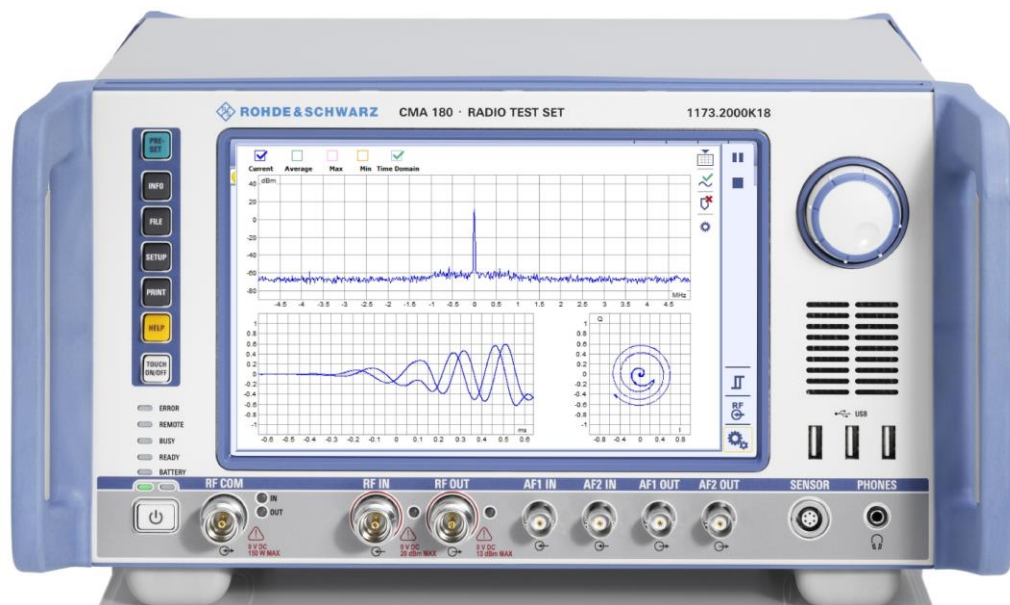
- FSW 80 MHz (160 MHz)
- FSV 40 MHz

Durch diese hohen Modulations-Bandbreiten lassen sich auch hoppende Verfahren bequem faden.

Für nähere Informationen zum RF Fading beachten Sie bitte die Application Note 1MA145: [Versatile RF Fading Simulator](#) [15] und die Application Card: [Testing airborne radios to the limits](#) [18].

## 2.6 CMA180 Radio Test Set

Für Tests an analogen Funkgeräten auf festen Frequenzen ist das CMA Radio Test Set als kompakter Tester für Service, Produktion und Entwicklung die optimale Lösung. Er verfügt sowohl über einen Generator für Empfänger-Tests als auch einen Analysator für Sender-Tests in einem Gerät. Mit seiner Hilfe lassen sich alle Tests der ITOP (siehe 1.3.2) durchführen. Er deckt einen Frequenzbereich von 0.1 MHz bis 3000 MHz ab.



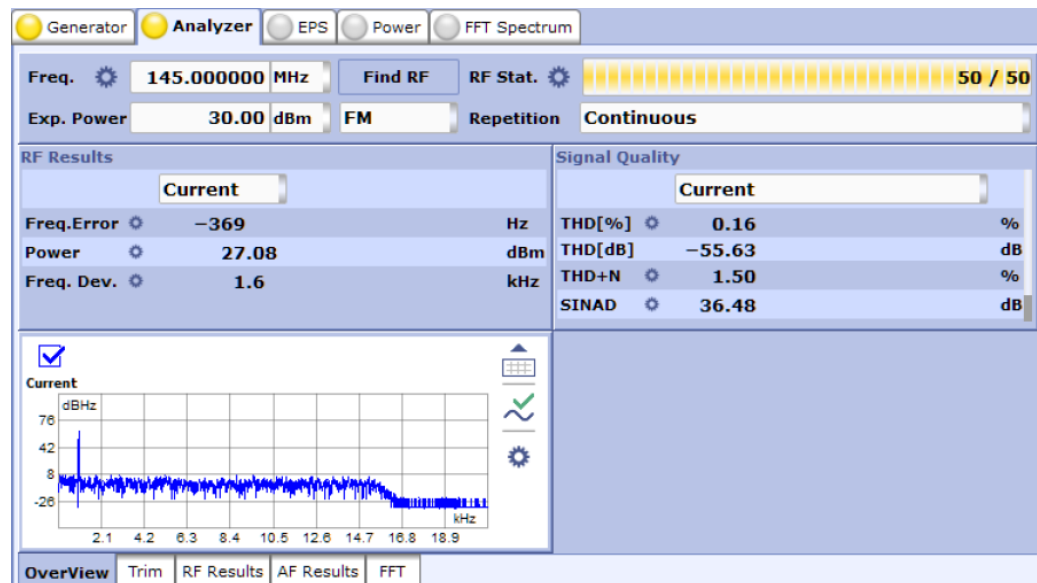
**Bild 49: CMA Radio Test Set**

Der Generator-Teil hat folgende Eigenschaften:

- AM, FM,  $\phi$ M, und Multitone-Modulation
- Integrierter Störer
- ARB-Generator
- Audio-Generator

Folgende Punkte werden zu einem späteren Zeitpunkt folgen:

- Selektiver Ruf-Coder für alle Standards
- CDCSS-Coder
- DTMF-Coder
- VOR/ILS Signalgenerator



**Bild 50: Messungen mit dem Analysator**

Im Folgenden die wichtigsten Eigenschaften des Analysators:

- RF Frequenzzähler, RF Frequenzfehlerzähler
- RF Leistungsmesser bis zu 150 W (mit Hochleistungsdämpfungsglied)
- Selektive RF Leistungsmessung bis zu  $-100$  dBm
- RF Spektrumsanalysator und 20 MHz FFT
- Modulationsanalyse (AM, FM, SSB)
- Modulationsmesser für AM, FM, and  $\phi$ M
- Duplex Modulationsmesser für beliebigen Duplexabstand
- SSB Menus
- Messungen von Harmonischen
- AF Spannungsmesser mit Spitzen- und RMS-Wert
- SINAD-Messungen mit variabler Testfrequenz
- S/N-Messungen
- Verzerrungsmessungen mit variabler Testfrequenz
- AF Frequenzzähler mit periodischer und gate-time Zählung
- DC AM Messungen/Spannungsmessung

Folgende Punkte werden zu einem späteren Zeitpunkt folgen:

- Selektiver Ruf-Decoder für alle Standards (auch anwenderspezifisch)
- DTMF Decoder
- Oszilloskop
- Transienten-Recorder zur Analyse von Leistungs- und Frequenztransienten
- Kabelfehlerfinder
- Tracking generator
- Nachbarkanalmessungen mit standardisierten ETSI-Filtern

Für nähere Informationen siehe auch die Produktbroschüre [13].

## 2.7 CTH: Einsatz im Vor-Ort-Service

Für den Vorort-Service im Feld steht mit dem CTH ein Tester für analoge FM-Funkgeräte zur Verfügung. Es wurde speziell für den Außeneinsatz und raue Umweltbedingung entwickelt. Für die Bedienung ist kein Expertenwissen von Nöten. Der CTH existiert in zwei Ausführungen: CTH100 und CTH200.



*Bild 51: Der CTH in einem typischen Messaufbau*

Der CTH unterstützt folgende Messungen:

- Sendermessungen
  - Vorwärtsleistung
  - Rückwärtsleistung
  - Frequenzzähler
- Empfängermessungen
  - Squelch
  - Demodulation

Der CTH200 unterstützt zusätzlich folgende Merkmale:

- Over-the-air-Messungen
- Kabelfehlstellenortung
- Sprachausgabe der Ergebnisse

Für nähere Informationen siehe auch die Produktbroschüre [14].

## 2.8 Einbindung von Instrumenten in EDA-Tools

Für den Entwurf von HF/Mikrowellen- und Kommunikations-Systemen sind „Electronic design automation“ (EDA) Tools unverzichtbar. Neben dem typischen Chipentwurf werden vermehrt auch Funktionen unterstützt, die Zielgenauigkeit verbessern, die Anzahl der Designzyklen verringern und so letztlich die Time-to-market verkürzen.

Auf dem Markt sind verschiedene Design- und Simulations-Tools vertreten. Um die Simulationen über viele Domains erstrecken zu können, lassen sich die Messinstrumente von Rohde & Schwarz leicht in diese Tools integrieren. Rohde & Schwarz bringt dadurch nicht nur standardkonforme Signale in die Tools ein, sondern unterstützt Fernsteuerung der Instrumente und einen reibungslosen Datentransfer.

Bitte beachten Sie unsere website [EDA software support](#) für mehr Information für die die Integration in folgende Tools:

- MATLAB® von The MathWorks™
- Microwave Office® (MWO) und Visual System Simulator™ (VSS) von AWR
- Advanced Design System (ADS) von Agilent

## 3 Anhang

### 3.1 Literatur-Verzeichnis

- [1] International Test Operations Procedure (ITOP) 6-2-242: **Analog Communication Transmitter and Receiver Test Procedures**, October 1993
- [2] Rohde & Schwarz: **NRP USB and LAN Power Sensors**, Product Brochure, October 2016
- [3] Rohde & Schwarz: **Signal and Spectrum Analyzers**, Product Brochure, August 2013
- [4] Rohde & Schwarz: **OFDM Vector Signal Analysis**, Product Brochure, April 2013
- [5] Rohde & Schwarz: **Distortion Analysis Software**, Product Brochure, March 2014
- [6] Rohde & Schwarz: **Performing Mixer Measurements with the Vector Network Analyzer ZVA**, Application Note **1EZ58**, March 2009
- [7] Rohde & Schwarz: **Selecting a Signal Generator for Testing AD converters**, Application Note **1GP66**, December 2010
- [8] Rohde & Schwarz: **FSWP**, Product Brochure, April 2018
- [9] Rohde & Schwarz: **FSVR**, Product Brochure, November 2010
- [10] Rohde & Schwarz: **Oscilloscope innovation**, Flyer, März 2018
- [11] Rohde & Schwarz: **UPV**, Product Brochure, July 2010
- [12] Rohde & Schwarz: **EMV**, Product Brochure, March 2006
- [13] Rohde & Schwarz: **CMA180**, Product Brochure, Juni 2016
- [14] Rohde & Schwarz: **CTH**, Product Brochure, August 2013
- [15] Rohde & Schwarz: [Versatile RF Fading Simulator](#), Application Note 1MA145
- [16] Rohde & Schwarz: **Starting Successfully with the R&S®EX-IQ-Box**, Application Note 1MA186, Mai 2012
- [17] Rohde & Schwarz: **The Effective Number of Bits (ENOB) of my R&S Digital Oscilloscope**, Application Note 1ER03\_1e, April 2011
- [18] Rohde & Schwarz: [Testing airborne radios to the limits](#), Application Card



## 3.2 Zusätzliche Informationen

Bitte schicken Sie Fragen und Anmerkungen zu dieser Applikationsschrift an

[TM-Applications@rohde-schwarz.com](mailto:TM-Applications@rohde-schwarz.com)

Besuchen Sie uns unter

<https://www.rohde-schwarz.com/>

oder, als registrierter Anwender in GLORIS, das Customer Web unter

<https://extranet.rohde-schwarz.com/>

## 3.3 Bestellinformationen

Bestellinformationen		
<b>Vector Signal Generator</b>		
SMW200A		1141.2005.02
SMBV100A		1407.6004.02
SMBV100B		1423.1003.02
AFQ100A/B	Signal and IQ Modulation	
Ex-IQ-Box	Digital Signal Interface Module	1409.5505.04
SMW-K71	Dynamic fading and enhanced resolution	
SMW -K72	Enhanced fading	
SMW -K74	MIMO fading	
SMW -K80	BER/BLER Measurement	
<b>Signal generators</b>		
SMA100A		1400.0000.02
SMA100B		1419.8888.02
SMB100A	RF and Microwave Signal Generator	1406.6000.02
SMB100B		1422.1000.02
SMC100A		1411.4002.02
SMF100A	Microwave Signal Generator	1167.0000.02
SGS100A	SGMA RF Source	1416.0505.02

<b>Bestellinformationen</b>		
<b>Spectrum und Signal Analysatoren</b>		
FSW	Up to 8, 13, 26, 43, 50, 67, 85 GHz	1312.8000Kxx
FSWP	Up to 8, 26, 50 GHz	1322.8003.xx
FSV	Up to 4, 7, 13, 30, 40 GHz	1307.9002.xx
FSVA	Up to 4, 7, 13, 30, 40 GHz	1321.3008.xx
FPS	Up to 4, 7, 13, 30, 40 GHz	1319.2008.xx
FPL	Up to 3 GHz	1304.0004.03
FSVR	Up to 7, 13, 30, 40 GHz	1311.0006.xx
FSL	Up to 3, 6, 18 GHz	1300.2502.03
FSH4/8	Up to 4, 8 GHz	1309.6000.08
K7	FM Measurement Demodulator	
K40	Phase Noise Measurement	
K70	General Purpose Vector Signal Analyzer	
K96(PC)	OFDM Vector Signal Analysis	
K130(PC)	Distortion Analysis Software	1310.0090.06
<b>Netzwerk Analysatoren</b>		
ZVA	Up to 8, 24, 40, 50, 67, 110 GHz	1145.1110.xx
ZVT	Up to 8, 20 GHz	1300.0000.xx
ZNB	Up to 4.5, 8.5, 20, 40 GHz	1311.6010.xx
ZNBT	Up to 8.5, 20 GHz	1332.9002.xx
ZNC	Up to 3 GHz	1311.6004.12
ZVL	Up to 3, 6, 13.6 GHz	1303.6509.xx
ZNL	Up to 3, 6 GHz	1323.0012.xx
ZNLE	Up to 3, 6 GHz	1323.0012.5x
ZND	Up to 4,5, 8,5 GHz	1328.5170.92
ZVH	Up to 3,6, 8 GHz	1309.6800.2x
<b>EMV Empfänger</b>		
ESW	Up to 8, 26.5, 40 GHz	1302.6005.xx
ESRP	Up to 3, 7 GHz	1316.4500.07
ESL	Up to 3, 6 GHz	1300.5001.xx
ESR	up to 3, 7, 26,5 GHz	1316.3003.xx
<b>Oszilloskope</b>		
RTP	Up to 4, 6, 8 GHz	1320.5007.xx
RTO	Up to 0.6, 1, 2, 3, 4 GHz	1329.7002.xx

<b>Radio Test Set</b>		
CMA180	Radio Test Set	1173.2000K18
<b>Portable Radio Test Set</b>		
CTH100A/200A	Portable Radio Test Set for analog transceivers	1207.1000.xx
<b>Leistungsmesser</b>		
NRPxxS/SN	Drei-Pfad Dioden Sensoren	
NRPxxT/TN	Thermische Sensoren	
NRP-Z	Sensoren-Familie	
NRQ6	Frequenzselektiver Sensor	
<b>Audio Analyzer</b>		
UPV	Audio Analyzer	1146.2003.02

## Rohde & Schwarz

Der Elektronikkonzern Rohde & Schwarz bietet innovative Lösungen auf den Arbeitsgebieten Messtechnik, Rundfunk- und Medientechnik, sichere Kommunikation, Cyber-Sicherheit sowie Funküberwachungs- und -ortungstechnik. Vor mehr als 80 Jahren gegründet, ist das selbstständige Unternehmen in über 70 Ländern mit einem engmaschigen Vertriebs- und Servicenetz präsent. In seinen angestammten Arbeitsgebieten zählt der Elektronikkonzern zu den führenden Anbietern weltweit. Der Firmensitz ist in München, Deutschland. Ergänzend steuern je ein regionales Headquarter in Singapur sowie in Columbia, USA, die Geschäfte.

## Regional Kontakt

Europa, Afrika, Mittlerer Osten

+49 89 4129 12345

[customersupport@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport@rohde-schwarz.com)

Nord Amerika

1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)

[customer.support@rsa.rohde-schwarz.com](mailto:customer.support@rsa.rohde-schwarz.com)

Lateinamerika

+1 410 910 79 88

[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 82 28 | +86 400 650 58 96

[customersupport.china@rohde-schwarz.com](mailto:customersupport.china@rohde-schwarz.com)

## Nachhaltige Produktgestaltung

- Umweltverträglichkeit und ökologischer Fußabdruck
- Energie-Effizienz und geringe Emissionen
- Langlebigkeit und optimierte Gesamtbetriebskosten



Die Nutzung dieses Dokuments und der mitgelieferten Programme darf nur unter Anerkennung der Nutzungsbedingungen erfolgen, die im Downloadbereich der Rohde & Schwarz-Website aufgeführt sind.

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

## Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München

Telefon + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)