

3.6.3 Fehlerquellen bei DVB-S

Das digitale Fernsehen hat einen genau definierten Arbeitsbereich. Die Grenze zum Totalausfall des DVB-S-Systems ist sehr scharf ausgeprägt. Die zweistufige Vorwärts-Fehlerkorrektur - zuerst Viterbi und danach Reed-Solomon - bilden den Knick zwischen Funktionsbereich und Totalausfall noch spitzer aus als bei DVB-C, machen aber das System sehr viel fehlertoleranter. Das Bitfehlerverhältnis vor und nach der Viterbi-Korrektur, das es als Funktionsindikator zu messen gilt, wird von bekannten Fehlerquellen bestimmt. Die Fehler lassen sich unterteilen in solche, die im DVB-Modulator/Sender entstehen und weitere, die während der Übertragung dem Signal überlagert werden. Die Fehler des Modulators/Senders sind:

- unterschiedliche Amplituden in I- und Q-Komponenten,
- von 90° abweichende Phase zwischen I- und Q-Achse,
- im Modulator erzeugter Phasenjitter,
- nicht ausreichende Trägerunterdrückung bei der DVB-Modulation,
- sowie Fehler in Amplituden- und Phasengang, die die I- und Q-Impulsformung bei der Filterung verfälschen und
- im Modulator erzeugtes Rauschen, das den QPSK (16QAM)-Signalen überlagert ist.

Auf dem Übertragungsweg kommen weitere Verzerrungen des Amplituden- und Phasengangs hinzu:

- Nichtlinearitäten des Transponders im Satelliten verzerren die DVB-S-Signale,
- Intermodulationen mit Nachbarkanälen beeinflussen die Signalqualität, und
- Interferenzstörer und Rauschen überlagern sich dem Nutzsignal
- Reflexionen verfälschen Amplituden- und Phasenfrequenzgang

Während die Fehler, die außerhalb des Modulators entstehen, durch Zusatzgeräte nachgebildet werden können, sind alle modulatorspezifischen Verzerrungen nur mit einem professionellen Meßsender definiert einstellbar. Hier wird der TV-Meßsender SFQ zum Streßsender. Es zeigt sich daß ein einziger Parameter das DVB-S-System nicht zum Absturz bringt, selbst wenn er auf maximalen Fehler verdreht wird. Als Beispiel sollen die Grenzwerte der Modulatorparameter aufgelistet werden, die parallel vorhanden sein können, ohne daß Fehler nach den beiden Fehlerkorrekturen auftreten.

Parameter	eingestellte Abweichung vom Idealwert
I/Q IMBALANCE	25 %
I/Q QUADRATURE ERROR	10 °
PHASE JITTER	(nicht einstellbar mit SFQ allein, siehe auch Appl.Note 7BM30)
CARRIER SUPPRESSION	50 %

Tabelle 3.7 Tolerierbare Modulatorfehler bei DVB-S mit der Code-Rate 3/4

Das BER vor RS-FEC ist dabei immer noch kleiner als die Meßgrenze von $0.0 \cdot 10^{-9}$. Zusätzlich zu diesen groben Modulatorfehlern kann noch Rauschen überlagert sein. Das zusätzliche C/N beträgt noch 6.5 dB für ein $\text{BER} < 2.0 \cdot 10^{-4}$. Schaltet man um auf die Code-Rate 1/2 so erhöht sich das C/N auf 3.8 dB wiederum inklusiv aller Modulatorfehler nach Tabelle 3.7 (siehe auch Tabelle 3.8 "Maximales SNR für die verschiedenen Coderaten").

Dies beweist die hohe Zuverlässigkeit des DVB-S-Übertragungssystems. Deswegen sind die Anforderungen an die Meßtechnik in der STB-Produktion, der DVB-S Übertragung usw. nicht besonders hoch. Die trotzdem notwendigen Messungen werden später dazu vorgestellt.

Der speziell für die Produktion konzipierte TV Meßsender SFL-S verfügt über dieselben Einstellmöglichkeiten wie der bisher betrachtete SFQ. Mit ihm sind daher auch Abnahmemessungen am Ende der Fertigungsstraße möglich.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOL RATE
1750.000 MHz	-30.0 dBm	DVB-S QPSK	27.500 Msym/s

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	RASTER
--------------	----------	------------	-----------	--------

MODULATION	DVB-S QPSK	EDIT
▶ SATELLITE		
DVB-C QAM	I/Q	NORMAL
DVB-T COFDM	I/Q PHASE ERROR →	0.0 DEG
ITU-T DVB-S	CARRIER SUPPRESSION →	0.0 %
ATSC DVB-S	I/Q AMPL. IMBALANCE →	0.0 %
I/Q EXTERNAL	NOISE →	
FM	FADING →	
FM EXTERNAL	CW/MODULATION	MOD.

F2=STATUS

Bild 3.19 Das SFQ Menü zur QPSK-Parameter-einstellung

3.6.4 Das Bitfehlerverhältnis BER

Soll ein definiertes BER erzeugt werden, benützt man dazu einen Rauschgenerator mit einstellbarer Bandbreite und Pegel. Theoretisch berechnete Kurven beschreiben die Abhängigkeit des BER von Signal-Rauschabstand S/N bei allen fünf Coderaten im QPSK Mode

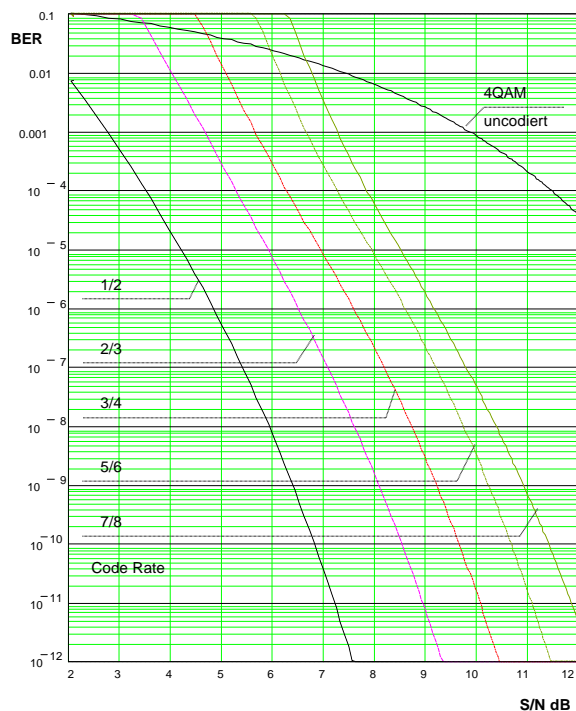


Bild 3.20 Theoretische Abhängigkeit BER(S/N) bei allen fünf Coderaten im QPSK Mode

Anmerkung: Die theoretischen Kurven bilden die Abhängigkeit BER als Funktion von S/N ab. Der Zusammenhang zwischen S/N und C/N bei DVB-S mit $r = 35\%$ "roll off" ist $S/N = C/N - k_{\text{roll off}} = C/N + 0.398 \text{ dB}$.

Rauschgeneratoren sind im TV-Meßsender SFQ (hier optional) und als Erweiterungsoption SFL-N zu den SFL-Modellen vorhanden.

Wegen des steilen Verlaufs der Kurven im Bereich $BER \leq 2 \cdot 10^{-4}$, dem Bezug für alle BER verknüpften Messungen, ist der Pegel des Rauschens sehr genau zu bestimmen.

Dies gelingt entweder mit der in der Application Note 7BM03 (*siehe Teil 4 DVB-T Anhang 4C*) beschriebenen Methode oder über die direkte Messung mit dem TV-Meßempfänger EFA. In 7BM03 ist auch die Umrechnung von C/N nach S/N erläutert.

Vergleicht man die Störanfälligkeit von DVB-C und DVB-S, so fällt sofort die Größe der Entscheidungsfelder der beiden DTV Systeme ins Auge. Die Entscheidungsfelder bei DVB-C mit 64QAM sind im Vergleich mit den Feldern bei DVB-S in der "Fläche" um den Faktor 16 kleiner. Dies bedeutet für die Robustheit allein von dieser Seite her betrachtet einen Reservegewinn von $10 \cdot \log(16) = 12$ dB. Zusätzlich sichert der zweite Fehlerschutz (Viterbi) etwa zwei weitere

Dekaden besseres Bit-Fehler-Verhältnis BER. Alles zusammen garantiert z.B. bei der kleinsten Coderate $\frac{1}{2}$ den Empfang eines QEF (Quasi Error Free) Signales, auch wenn das S/N nach der $\sqrt{\cos}$ Filterung im Empfänger 3.7 dB erreicht. Dies gilt noch unter der Annahme einer END (Equivalent Noise Degradation) von 0.4 dB. Die Verbesserung gegenüber einem Analogempfang ist hier offensichtlich.

Die maximalen SNR Werte für die fünf

Coderaten $P = \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}$ und $\frac{7}{8}$

für ein $\text{BER} \leq 2 \cdot 10^{-4}$ vor der RS Fehlerkorrektur sind in Tabelle 3.8 zusammen gefaßt.

Coderate P	SNR max. dB
1/2	3.3
2/3	5.1
3/4	6.1
5/6	7.1
7/8	7.7

Tabelle 3.8

Maximales SNR für die verschiedenen Coderaten

3.6.5 BER Messung mit SFQ

Ist der TV Messenger SFQ mit den Optionen SFQ-B10 DVB-T und SFQ-B17 Ber-Messung ausgerüstet, so kann nur mit diesem einen Gerät zusätzlich das Bit-Fehler-Verhältnis BER ermittelt werden:

Die SFQ intern erzeugten Daten - PRBS BEFORE CONVolutional Coder oder der gültige MPEG2 Transportstrom NULL PRBS PACKET - werden DVB-S-moduliert und in das Meßobjekt eingespeist.

RF FREQUENCY		RF LEVEL		MODULATION	
1750.000 MHz		-30.0 dBm		DVB-S QPSK	

RF FREQUENCY		RF LEVEL		MODULATION		I/Q CODER	
I/Q CODER		MODE					
INPUT SELECT		→					
INPUT DATA RATE		→					
USEFUL DATA RATE		→					
SYMBOL RATE		→					
▶ MODE		▶ DATA					
CODE RATE		NULL TS PACKET					
ROLL OFF		NULL PRBS PACKET					
		PRBS BEFORE CONV.					
SPECIAL		→					

F2=STATUS		F3=	
-----------	--	-----	--

Bild 3.21 Interne Daten zur BER Messung

Am Ausgang des Meßobjektes z.B.am CI (Common Interface) sind die wieder

demodulierten TS Pakete verfügbar, die dem SFQ zur BER Messung wiederum zugeführt sind.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOLRATE	
1000.000 MHz	-30.0 dBm	DVB-S QPSK	27.500 MSym/s	0
BER: 2.46E-07 (284 / 10K)				
RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	BASEBAND
SPECIAL	BER INPUT	SERIAL		
SWEEP START/STOP →				
SWEEP CENTER/SPAN →				
BER MEASUREMENT	ON			
BER	2.46E-07 (284 / 10K)			
▶ BER INPUT →	SERIAL	DATA CLOCK ENABLE	NORMAL INVERTED ALWAYS	
BER PRBS SEQUENCE →	2 ²³ -1			
		F2=STATUS		

Bild 3.22 Die BER Messung

Ein Beispiel erläutert diese Messung. Es soll der Parameter END (Equivalent Noise Degradation) des Front-End einer DVB-S-STB (Set Top Box) bestimmt werden.

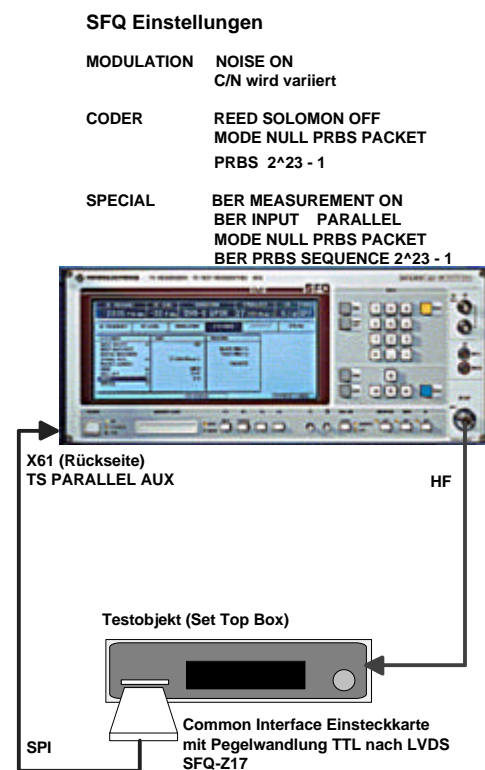


Bild 3.23 Aufbau zur BER/END Messung

Der TV Meßsender SFQ moduliert die NULL PRBS PACKET (Nullpakete, deren payload aus PRBS-Bytes besteht). Die Kanalcodierung ist vollständig, nur der Reed Solomon Encoder ist abgeschaltet.

Damit erkennt der Reed Solomon Decoder im Testobjekt mehr als 8 scheinbar fehlerhafte Bytes weil die 16 Fehlerschutzbytes fehlen. Der Reed Solomon Decoder setzt das Error-Flag TEI (Transport Error Indicator) und lässt den Transportstrom unverändert passieren. So kann auf einfache Weise das Bitfehlerverhältnis vor dem Reed Solomon Decoder gemessen werden.

Der Transportstrom steht bei einer Set Top Box am Common Interface in TTL Pegel zur Verfügung. Eine Adapterkarte wandelt die TTL-Signale in LVDS-Signale um. Diese Signale werden der Bitfehlerverhältnismessung dem SFQ über den TS PARALLEL AUX Eingang zugeführt. Im der Option SFQ-B17 BER Messung wird bei der Einstellung NULL PRBS PACKET der Header (4 Byte) der Transportpakete entfernt. Die 184 Byte Nutzdaten enthalten die originale PRBS 2²³ - 1, welche für die Bestimmung des Bitfehlerverhältnisses ausgewertet wird.

Zur Bestimmung des END verändert man so lange das C/N Verhältnis des SFQ Ausgangssignals bis das BER = $1 \cdot 10^{-4}$ beträgt. Nach der Bestimmung des genauen C/N Wertes mit der in der Application Note 7BM03 beschriebenen Methode und der Korrektur um den Faktor des "roll off" Einflusses erhält man den exakten S/N Wert. Die Differenz zwischen dem theoretischen S/N Wert, der aus Bild 3.20 "Theoretische Abhängigkeit BER(S/N) bei allen fünf Coderaten im QPSK Mode" für DVB-S (oder aus den entsprechenden Kurvenscharen für DVB-C) bei der BER = $1 \cdot 10^{-4}$ zu entnehmen ist und dem gemessenen S/N Wert ergibt den Wert für END in dB. Er sollte nicht größer als 0.8 dB sein.

3.6.6 Der Crest Faktor des DVB-S Signals

Die Struktur des DVB-S Signals ist bestimmt durch die vier Zustände im QPSK-Konstellations-Diagramm. Die eingeschwungenen Signale besitzen dieselbe Amplitude, nur die Phasen ändern sich um $\pm 90^\circ$ oder $\pm 180^\circ$. Entsprechend treten auch unterschiedliche Signalsprünge mit unterschiedlichen Überschwüngen auf. Die Amplitudenstufen sind entweder $2 \cdot d$ oder $2 \cdot d \cdot \sqrt{2}$ (siehe Bild 3.8 Das QPSK Constellations-Diagramm). Die Größe der Überschwinger hängt vom "roll off" Faktor ab. Um Begrenzungseffekte zu erkennen mißt man den Crest-Faktor, der als Verhältnis von Spitzen- Spannung zu Spannungs-Effektivwert definiert ist. Die Darstellung des Crest-Faktors geschieht im Spektrum Analysator FSP mittels der CCDF

(Complementary Cumulative Distribution Function). Erreicht der mit dieser Funktion gemessene Crest-Faktor $K_{\text{CREST}} > 7\text{dB}$ bei einer Wahrscheinlichkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ ist zu schließen, daß keine Begrenzungseffekte im vorliegenden DVB-S System vorhanden sind.

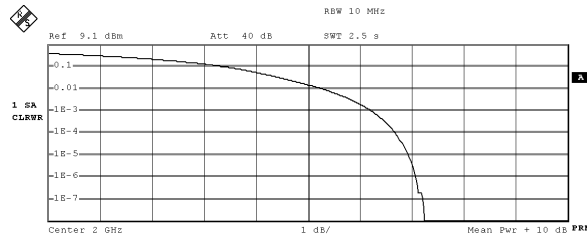


Bild 3.24 Der Crestfaktor bei DVB-S

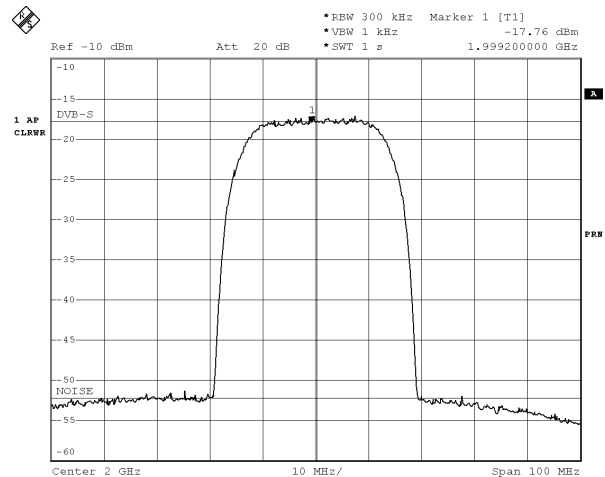
Falls das DVB-S Signal begrenzt wäre, würde Information fehlen und das BER würde ansteigen. Die richtige Pegelung des DVB-S Systems schützt daher vor einer unnötigen Verringerung der Systemreserve.

3.6.7 DVB-S Spektrum und Schulterabstand

Bei der Übertragung von MPEG2 Transportströmen über Satellit sind die Empfangsbedingungen zu überwachen, um immer eine ausreichende Versorgung der Heimzuschauer zu garantieren. Wegen der Robustheit des Systems DVB-S ist es dafür nur nötig den Amplitudenfrequenzgang und den Schulterabstand über eine gut ausgerichtete Konsumer-Satellitenantenne zu messen. Obwohl Fadingeffekte beim DVB-S-Empfang nur eine untergeordnete Rolle spielen dürften, sollten zumindest Einflüsse von Reflexionen mit constanter Phase, die ein nicht ebenes Spektrum erzeugen untersucht werden. Als Simulator für ein solches Spektrum dient wiederum der TV Meßsender SFQ.

Den optimalen Amplitudenfrequenzgang zeigt Bild 3.25 mit einer Symbolrate von 27.5 MSymb/s, was der Signalbandbreite von 27.5 MHz entspricht. Deutlich ist auch der Einfluß der " $\sqrt{\cos}$ roll off"-Filterung mit dem "roll off"-Faktor $r = 0.35$ zu sehen.

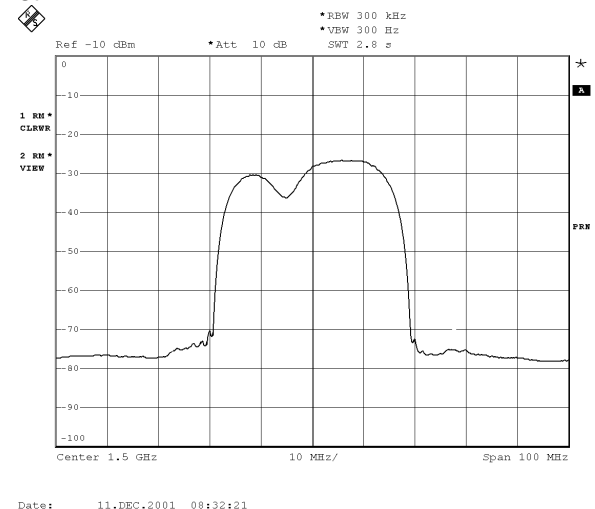
Den Einfluß von einem Echo mit constanter Phase zeigt Bild 3.26. Wiederum deutlich ist der Amplitudenfrequenzgang-Einbruch im Spektrum zu sehen.



Comment A: DVB-S 27Mps, SFQ at -3.5dBm
Date: 15.JAN.2002 08:40:14

Bild 3.25 Optimaler Amplitudenfrequenzgang bei DVB-S

Der Schulterabstand in Bild 3.25 beträgt 47dB. Wie aus Bild 3.20 "Theoretische Abhängigkeit BER(S/N) bei allen fünf Coderaten im QPSK Mode" zu ersehen ist, erreicht man bei einem solchen C/N (umgerechnet auf S/N) in jedem Falle ein BER das besser als QEF einzustufen ist.



Date: 11.DEC.2001 08:32:21

Bild 3.26 Amplitudenfrequenzgang bei DVB-S mit einem 40 ns / 6.5dB Echo

Echos wie in Bild 3.26 können durchaus bei nicht fachgerechter Hausverkabelung oder bei nicht exakt ausgerichteter Satellitenantenne auftreten. Daher ist eine Überprüfung von DVB-S-STB's mit einem solchen Fading-Profil immer angebracht, obwohl dieses Spektrum noch keine Verschlechterung des BER verursachen sollte.

3.6.8 Erzeugung von definierten Echos

Wie wird ein solches Echo erzeugt?

Mit einem definierten Fehlabschluß wird ein Echo erzeugt, das dem HF-Ausgangssignal des TV Meßsenders SFQ überlagert ist. Ein am Ende kurzgeschlossenes 50Ω Koax-Kabel, das über ein T-Stück in die HF-Zuleitung der STB geschaltet ist, bildet den Fehlabschluß. Je nach Kabellänge - wobei man pro Meter eine Laufzeit von 2*5 ns (Laufzeit hin und zurück) rechnet - erscheint der Amplitudenfrequenzgang-Einbruch an einer definierten Frequenz. Im obigen Falle zeigt der Einbruch auf 1495 MHz, was einer Verzögerung von 20.067 ns entspricht.

Verwendet wurde zur Erzeugung dieses Spektrums ein 2 Meter Koaxialkabel, das eine Verzögerung von etwa $\tau = 2 \cdot 2 \cdot 5 = 20 \text{ ns}$ erzeugt. Die Frequenz, bei der der erste Einbruch erfolgt, liegt bei $f_1 = 1/\tau = 50 \text{ MHz}$. Der Einbruch wiederholt sich bei $f_n = n \times f_1$ (mit $n = 1, 2, 3, \dots$).

Mit $n = 30$ müsste die Frequenz f_{30} bei 1500 MHz liegen. Die gemessene Abweichung beträgt hier nur 5 MHz oder 0.33%. Die Tiefe des Einbruchs hängt von der Güte des Kabels ab.

Anmerkung: Die Option SFQ-B11 FADING hat eine Nutzbandbreite von 14 MHz und ist deshalb zur Erzeugung von Fadingeffekten in DVB-S zu schmalbandig. Übliche DVB-S Bandbreiten sind deutlich größer als 20 MHz.

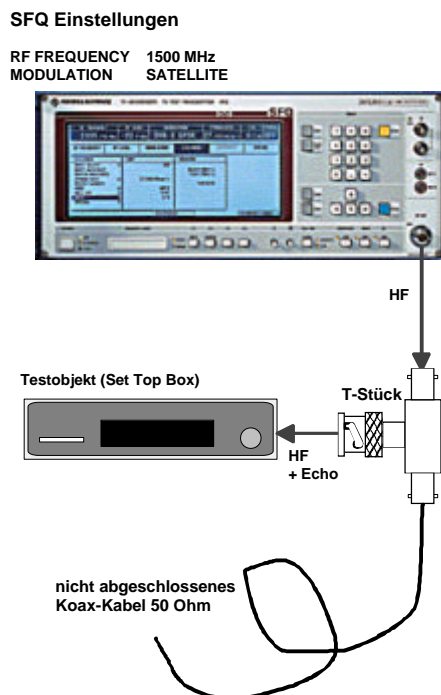












Bild 3.27 Meßaufbau zur Echoerzeugung

3.7 Zusammenfassung aller DVB-S spezifischen Messungen

Meßgerät, Meßort	zu messender Parameter
Am Satelliten -Uplink TS Quelle für die Produktion DVG MPEG2 MEASUREMENT GENERATOR  DVRG DTV RECORDER GENERATOR  TS Ausgang am Common Interface der STB DVMD MPEG2 MEASUREMENT DECODER  DVRM MPEG2 REAL TIME MONITOR  DVQ DIGITAL VIDEO QUALITY ANALYZER 	Meßsignalgenerator für wieder-holbare MPEG2 Messungen, diverse Testsequenzen Meßsignalgenerator für wieder-holbare MPEG2 Messungen, diverse Testsequenzen Aufzeichnung eigener TS Aufzeichnung von Fehler-ereignissen MPEG2 Transportstrom - Protokollanalysator Echtzeitmessungen MPEG2 Transportstrom - Echtzeit-Protokollüberwachung Messung der Signalqualität nach MPEG2 Kodierung und Dekodierung
Am Testsender/ Satelliten Uplink Empfang über Satellitenantenne Produktion  SPECTRUM ANALYSER FSEx  SPECTRUM ANALYSER FSP  SSPECTRUM ANALYSER FSU	DVB-S Spektrum Schulterabstand Kontrolle "roll off" Crestfaktor Ausgangsleistung

Meßgerät, Meßort	zu messender Parameter
Am Testsender/ Satelliten-Uplink  NRVS mit Leistungsmeßkopf NRV-Z51	thermische Präzisionsmessung der Ausgangsleistung
Simulation einer DVB-S Übertragung  SFQ TV TEST TRANSMITTER Option NOISE GENERATOR	C/N Einstellung für END/BER Messung Simulation von definierten Empfangsbedingungen Simulation von Modulatordefekten
DVB-S Sender für die Produktion  SFL-S TV TEST TRANSMITTER	Testsender in der Produktion Simulation von Modulatordefekten zum Test und Abgleich von STBs in der Produktion