

TV Digital Rezepte Teil 4 DVB-T

Inhaltsverzeichnis

4.1	Vorwort	3
4.2	DVB-T Sender	3
4.2.1	Der DVB-T Modulator, nicht hierarchisch	3
4.2.2	Das Basisband - Eingangsmodul	4
4.2.3	Synchronwortinvertierung und Verwischung	4
4.2.4	Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon (FEC forward error correction RS)	4
4.2.5	Der Interleaver	4
4.2.6	Faltungskoder (Convolutional Coder)	5
4.2.7	Das Punktierungsschema	5
4.2.8	Umsetzung Byte auf Symbol im terrestrischen Standard DVB-T	6
4.2.8.1	Der „Innere Interleaver“	6
4.2.8.2	Der Symbol Interleaver	6
4.2.9	Mapping	8
4.2.9.1	Die Konstellationsdiagramme bei DVB-T (nicht hierarchisch)	8
4.2.9.2	Das Blockdiagramm und die Funktion von "DVB-T hierarchisch"	9
4.2.10	Der Datenadapter	10
4.2.11	Der OFDM Modulator und das Schutzintervall	10
4.2.12	Tabelle über die wichtigsten Daten von DVB-T	11
4.2.13	Die erreichbaren Nettodaten - Raten	11
4.3	TV digital terrestrisch - vom Studio zum Sender	13
4.3.1	Messungen am Sendereingang	15
4.4	Messungen am DVB-T Steuersender	16
4.4.1	Das theoretische DVB-T Spektrum	17
4.4.2	Das Nutzspektrum	18
4.4.3	Messung des Phasenrauschens	19
4.4.4	Maske für Außerbandanteile (minimaler Schulterabstand)	19
4.4.5	Die Mittenfrequenzen der UHF Kanäle	21
4.4.6	Vergrößerung des Schulterabstandes	21
4.4.7	Messung des Schulterabstandes mit dem DVB-T MESSEMPFÄNGER / DEMODULATOR EFA	23
4.4.8	Bestimmung des Schulterabstandes gemäß ETR 290	23
4.4.9	Linearitäts - Entzerrer und Schulterabstand	24
4.4.10	Wie ist der Crestfaktor definiert?	24
4.4.11	Crestfaktor, und Pegelbegrenzung im DVB-T Sender	26
4.5	Leistungsmessung bei DVB-T Sendern - Messung der mittleren Leistung	27
4.5.1	Ausfall von Verstärkern	29
4.5.1.1	Ausgangsleistung bei Ausfall von Verstärkern	29
4.5.1.2	Austausch von Verstärkern	30
4.5.2	Die END Messung	30
4.6	Die Messung des Bitfehlerverhältnisses BER (Bit Error Ratio)	32
4.7	Weitere Messungen im MEASURE Menue	33
4.7.1	Messung Frequenzoffset	33
4.7.2	Messung Datenratenoffset	33
4.7.3	Anzeige der DVB-T Modulatoreinstellungen	33
4.8	Messungen im Frequenzbereich	35
4.8.1	Der Kanalfrequenzgang in Betrag und Phase	35
4.8.2	Der Frequenzgang mit FFT berechnet	35
4.9	Das Konstellationsdiagramm	36
4.9.1	Die MER Messung	36
4.9.2	Die I/Q Analyse	37
4.9.3	Messungen der I/Q Parameter in OFDM	38
4.9.4	Die Restträgermessung	38
4.10	Der Alarmreport	39
4.11	Messungen im VHF Bereich Band I und Band III	40
4.12	Messungen im DVB-T Netz SFN oder MFN (Single Frequency Network, Multi Frequency Network)	40
4.13	Messungen mit der Option EFA-B4 MPEG2 Meßdekoder	41
4.14	Zusammenfassung aller DVB-T spezifischen Messungen	44
Anhang 4	45
Anhang 4A	Amplitudenverteilungsfunktion und CCDF bei hohem Crestfaktor -zwei unterschiedliche Definitionen	46
Anhang 4B	Messgenauigkeit der HF Pegelmessung in TV Messempfängern	49
Anhang 4C	Bit Error Ratio BER in DVB as a Function of S/N	55

4.1 Vorwort

Mit dem Ausbau von MFNs (Multi Frequency Network) und SFNs (Single Frequency Network) für DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) wächst der Bedarf an Meßtechnik für diese moderne Signalübertragungsart. Meßtechnik, wie sie für die analoge Fernsehtechnik bekannt ist, kann bei DVB bis auf wenige Ausnahmen nicht übernommen werden. Ausnahmen sind z.B. Spektrum Analysatoren und thermische Leistungsmesser. Nicht nur die Meßgeräte für DVB sind unterschiedlich, sondern natürlich auch die Meßparameter und die entsprechenden Meßmethoden. Im Folgenden wird die Rohde&Schwarz Meßtechnik speziell für DVB -T vorgestellt.

Dazu ist zuerst die Beschreibung eines Sender für DVB -T wichtig, um die Besonderheiten dieses Systems kennenzulernen, danach werden die Meßparameter, die Meßmethoden und die zugehörigen Meßgeräte erläutert.

4.2 DVB-T Sender

4.2.1 Der DVB-T Modulator, nicht hierarchisch

Anhand des Blockdiagrammes eines DVB-T Senders werden die einzelnen Signalverarbeitungsschritte erklärt.

Es fällt auf, daß der DVB-T Modulator einige Funktionsblocks aus den verwandten Modulatoren für DVB-C (Kabel) gemäß EN 300 429 und DVB-S (Satellit) gemäß EN 300 421 enthält. Daher können bestimmte Meßmethoden und Meßparameter auch für diese beiden DVB Normen übernommen werden.

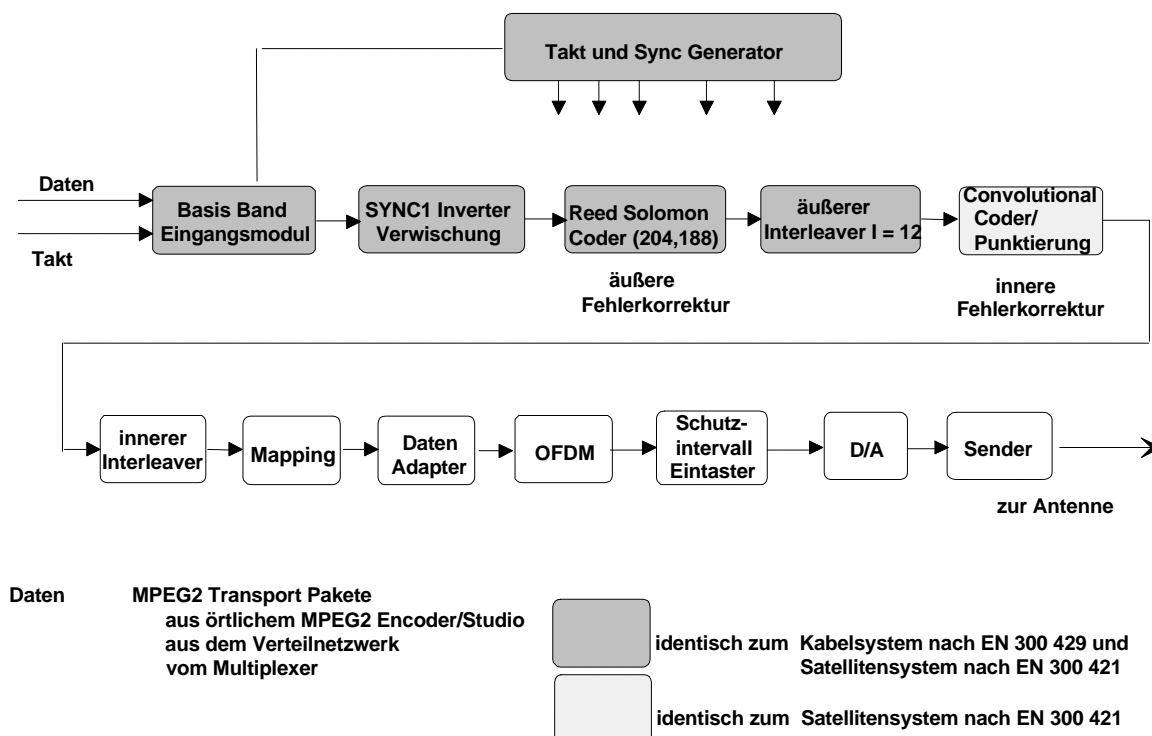


Bild 4.1 Der DVB-T Modulator/Sender

4.2.2 Das Basisband - Eingangsmodul

In das Basisband - Eingangsmodul werden die MPEG2 codierten Daten in Transportstrom (TS) - Paketen eingespeist. Anzupassen sind hier die Parameter

Rückflusssdämpfung (wenn möglich, z.B. bei der ASI Schnittstelle)
Amplituden- und Phasengang über der Frequenz
Datenamplituden.

Am Ausgang dieses Modules stehen die regenerierten TS Paketdaten zur Verteilung an die nachfolgenden Funktionsblocks des DVB-T Modulators.

Als erstes Modul erhält der "Clock und Syncgenerator" die Daten. Dieses Modul verteilt an alle Funktionsblocks im DVB-T Modulator das nötige synchrone Taktgerüst.

Als zweites Modul wird der Block "Synchronwortinvertierung und Verwischung" mit den TS Paketdaten versorgt.

4.2.3 Synchronwortinvertierung und Verwischung

Der erste Bearbeitungsschritt der TS-Pakete im Modulator geschieht im Block „Synchronwortinvertierung und Verwischung“. Das PRBS Polynom $1+x^{14}+x^{15}$ „verwischt“ die Daten in den TS Paketen, jedoch nicht die Synchronwörter (0x47), die jeweils ersten Bytes der TS Pakete. Die Lauflänge dieses Polynoms beträgt 1503 Bytes. Sie ist damit genau 8 TS Pakete abzüglich des bitweise invertierten Synchronwortes des ersten TS Paketes lang, dessen Wert jetzt 0xB8 beträgt.

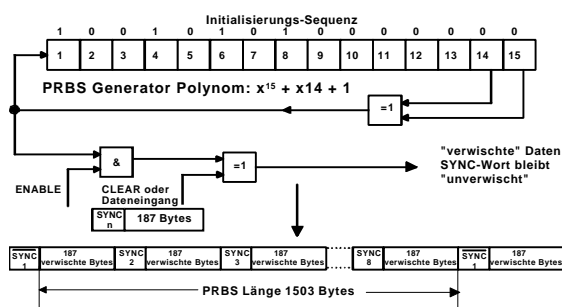


Bild 4.2 Verwischung

Das 15 Bit lange PRBS Register wird mit der Folge „100101010000000“ nach jedem 8 Paketzzyklus geladen. Das invertierte

Synchronwort kennzeichnet den Anfang der Verwischungssequenz und die Verwischung selbst garantiert einen konstanten mittleren Modulatorausgangspegel.

Synchronwortinvertierung und Verwischung

PRBS-Polynom	$x^{15}+x^{14}+1$
Initialisierung PRBS-Register	100101010000000
Lauflänge des Polynoms	1503 Bytes
Länge der Verwischungssequenz	1503 Bytes+invertiertes Syncbyte = 8 TS Pakete
Synchronwort	0x47
Bitweise invertiertes Synchronwort	0xB8

Tabelle 4.1

4.2.4 Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon RS (FEC forward error correction RS)

Den "verwischten" TS-Paketen werden 16 Fehlerschutzbytes angehängt. Die erweiterten TS-Pakete haben jetzt die Länge 204 Bytes. Mit diesem 204,188,8 RS Fehlerschutz lassen sich im Empfänger/Dekoder pro TS-Paket bis zu 8 fehlerhafte Bytes korrigieren. Dieser RS FEC kann Bitfehlerverhältnisse BER von $2 \cdot 10^{-4}$ auf den „fast fehlerfreien“ (QEF: quasi error free) Datenstrom korrigieren bei einem Rest-BER von $1 \cdot 10^{-11}$.

RS FEC

TS-Paketlänge	188+16 = 204 Bytes
Korrektur	bis zu 8 fehlerhafte Bytes pro TS Paket
Korrekturvermögen	BER von $2 \cdot 10^{-4}$ auf $1 \cdot 10^{-11}$

Tabelle 4.2 Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon

4.2.5 Der Interleaver

Wenn Übertragungsfehler auftreten, dann verfälschen sie meist nicht nur ein Bit im Datenstrom, sondern viele Bits in Folge. Man spricht von „Fehlerbursts“, die durchaus mehrere hundert Bits betreffen.

Die Möglichkeiten des RS Fehlerschutzes 8 Bytes pro TS-Paket zu korrigieren reichen dann meist nicht aus. Deshalb wird der Interleaver eingesetzt, der zwischen ursprünglich benachbarten Bytes mindestens 12 Bytes



ROHDE & SCHWARZ
BROADCASTING DIVISION

von anderen TS-Paketen eingefügt. Burstfehler von maximal $12 \times 8 = 96$ Bytes Länge können nun korrigiert werden, weil nach dem Deinterleaver im DVB Empfänger /Decoder 8 oder weniger fehlerhafte Bytes pro TS-Paket auftreten.

Interleaver

Pfade	$I = 12$
Speichertiefe der FIFOs	$M = 17 (= 204 / I)$ bytes
SYNC Bytes	immer über Pfad 0

Tabelle 4.3

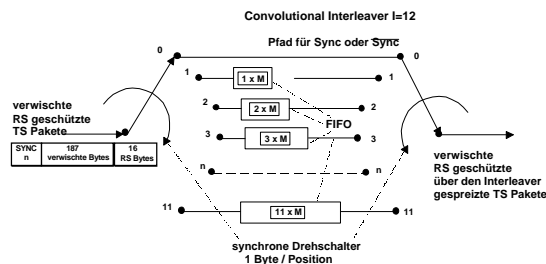


Bild 4.3 Convolutional Interleaver

Bis hier sind für alle DVB - Standards die Funktionsblocks identisch.

4.2.6 Faltungskoder

(Convolutional Coder)

Die TS Daten sind bei DVB-T mit einem weiteren Fehlerschutz versehen, dem Faltungskoder (Convolutional Coder) und der zugehörigen (Viterbi) Dekodierung.

Der Faltungskoder hat die Kenndaten:

Länge (Constraint Length)	$k=7$
Generatorpolynome	$G1 = 171 \text{ OCT (X)}$ und $G2 = 133 \text{ OCT (Y)}$

Tabelle 4.4

Die Generatorpolynome bestimmen die Ausgänge an dem Schieberegister mit $k = 7$.

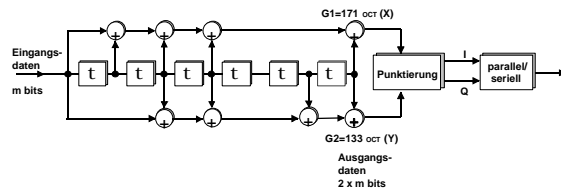


Bild 4.4 Faltungskoder bei DVB

Aus den k Bits Eingangsdaten entstehen $2 \times k$ Bits Ausgangsdaten. Die Nutzdatenrate ist um den Faktor 2 niedriger. Um diese hohe Redundanz wenigstens teilweise zu verringern werden die Ausgangsdaten „punktirt“. Durch Löschen definierter Bits der Ausgangsdaten wird die Ausgangsdatenrate nach folgendem Punktierungsschema reduziert:

4.2.7 Das Punktierungsschema

Die Ausgänge des "Convolutional Coder" liefern doppelt soviel bitserielle Daten wie am Eingang bitseriell eingespeist werden. Die folgende Zeichnung beschreibt welche Bits des X - bzw. Y Ausgangs entfernt werden, zeigt die Umsortierung der Bits in einen unterbrechungsfreien Datenstrom und die Punkt-tierungsrate P . Der so entstandene serielle Bitstrom speist den Bitinterleaver.

Der Viterbi-Dekoder im DVB-T Empfänger kann mit Hilfe der noch vorhandenen Redundanz das Bitfehlerverhältnis BER verbessern. Die Punktierungsrate oder auch Coderate genannt, gibt das Verhältnis Eingangsdatenrate zu Ausgangsdatenrate an. Die möglichen Werte sind in Bild 5 abzulesen. Die Verkettung von Viterbi FEC und RS FEC (FEC Forward Error Correction) erlaubt abhängig von der Punktierungsrate ein Eingangs-BER von ca. $2 \cdot 10^{-2}$:

der Viterbi-Dekoder korrigiert den BER Wert auf $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ und
der RS FEC auf $BER = 1 \cdot 10^{-11}$.

Anmerkung:

Das Bitfehlerverhältnis $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ vor RS FEC ist immer der Bezugswert für Messungen der Übertragungsqualität

Bis hier sind die Verarbeitungsschritte von DVB-S und DVB-T fast gleich. Beide benutzen den Convolutional Coder. Der Unterschied besteht in der Sortierung der punktierten Bits. Während die beiden Ausgänge bei DVB-S direkt die I/Q

Eingänge des DVB-S Modulators speisen, besitzt der Coder bei DVB-T einen bitseriellen Ausgang.

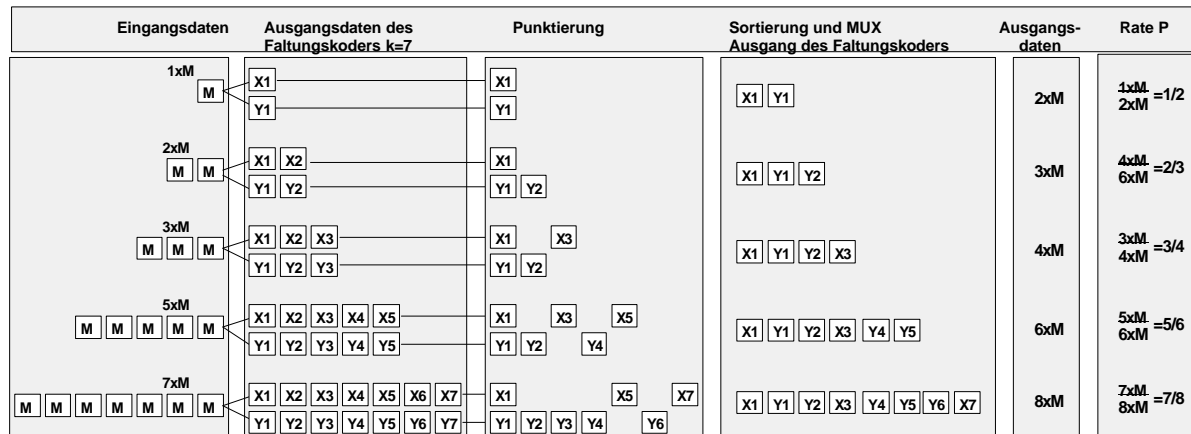


Bild 4.5 Das Punktierungsschema bei DVB-T

4.2.8 Umsetzung Byte auf Symbol im terrestrischen Standard DVB-T

Für das Vielträgerverfahren COFDM sind zwei Modi definiert: Der 2k Mode mit 1705 Trägern und der 8k Mode mit 6817 Trägern. COFDM Verfahren lassen sich optimal an die Gegebenheiten der terrestrischen Übertragung anpassen. Damit auch bei schlechtesten Bedingungen (Witterungseinflüsse, Fading) ein fast ungestörter Empfang gewährleistet ist, sind weitere Schutzmaßnahmen bei der Signalverarbeitung in DVB-T Modulator getroffen.

4.2.8.1 Der „Innere Interleaver“

Zusätzlich zum „äußeren“ Interleaver, der dem „äußeren“ Fehlerschutz nach Reed Solomon folgt, benutzt das COFDM Verfahren noch den „inneren“ Interleaver. Er ist je nach Modulationsart - QPSK, 16 oder 64 QAM - aus 2, 4 oder 6 Interleaverzweigen aufgebaut.

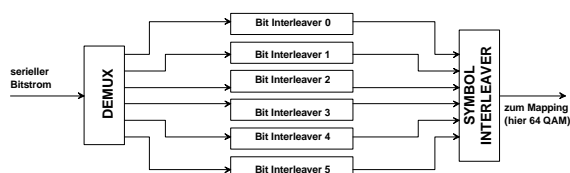


Bild 4.6 Bitinterleaver für 64 QAM

48 Blocks mit 126 Bits Länge werden im 8k Mode in die 2, 4 oder 6 Bitinterleaver geschoben und mit für jeden Zweig vordefinierten Gleichungen verwürfelt. Damit sind für die 6048 Datenträger bei 8k alle I / Q Wertepaare festgelegt.

Im 2k Mode werden 12 Blocks mit 126 Bits Länge in die 2, 4 oder 6 Bitinterleaver geschoben und mit für jeden Zweig vordefinierten Gleichungen verwürfelt. Damit sind für die 1512 Datenträger alle I / Q Wertepaare festgelegt.

So unterstützen Bitinterleaver und Symbolinterleaver optimal den bitweise arbeitenden inneren (Viterbi) Fehlerschutz.

Anmerkung:

Der Hinweis „innen“ bzw. „außen“ bezieht sich immer auf die Anordnung der Übertragungsblöcke in Bezug zur Antennenähe: „innen“ heißt nahe zur Antenne, „außen“ von der Antenne weiter entfernt.

4.2.8.2 Der Symbol Interleaver

Wie schon oben beschrieben sind im 2k Mode 12 Gruppen und im 8k Mode 48 Gruppen der 126 Interleaver - Ausgangsdatenwörter zu „Bitgruppen“ zusammengefaßt. Der Symbolinterleaver verwürfelt nun diese Bitgruppen und erzeugt daraus die „COFDM Symbole“.

Hier ist bereits festgelegt auf welchen der Nutzträger bei QPSK Modulation oder QAM die I/Q Wertepaare moduliert werden. Das folgende

„Mapping“ legt den Konstellationszustand auf jedem Nutztäger fest.

Der Symbolinterleaver berücksichtigt auch schon, daß an definierten Stellen im COFDM Symbol die „verstreuten“, „ständigen“ Piloten und TPS Träger (Transmission Parameter Signalling) einzufügen sind und läßt die betroffenen Träger frei.

Die „ständigen“ Piloten dienen der Empfänger-synchronisation in Frequenz und Phase, die „verstreuten“ Piloten dienen der

Kanalregeneration in Amplitude und Phase, während die TPS Piloten wichtige Informationen über die Modulationsart an den Empfänger/Demodulator übertragen.

Die Gesamtheit der Informationen auf allen Trägern ist in COFDM ein Symbol.

Die Struktur der DVB-T Symbole und die Zusammenfassung zum Übertragungsrahmen, der 68 Symbole umfaßt, zeigt Bild 4.7:

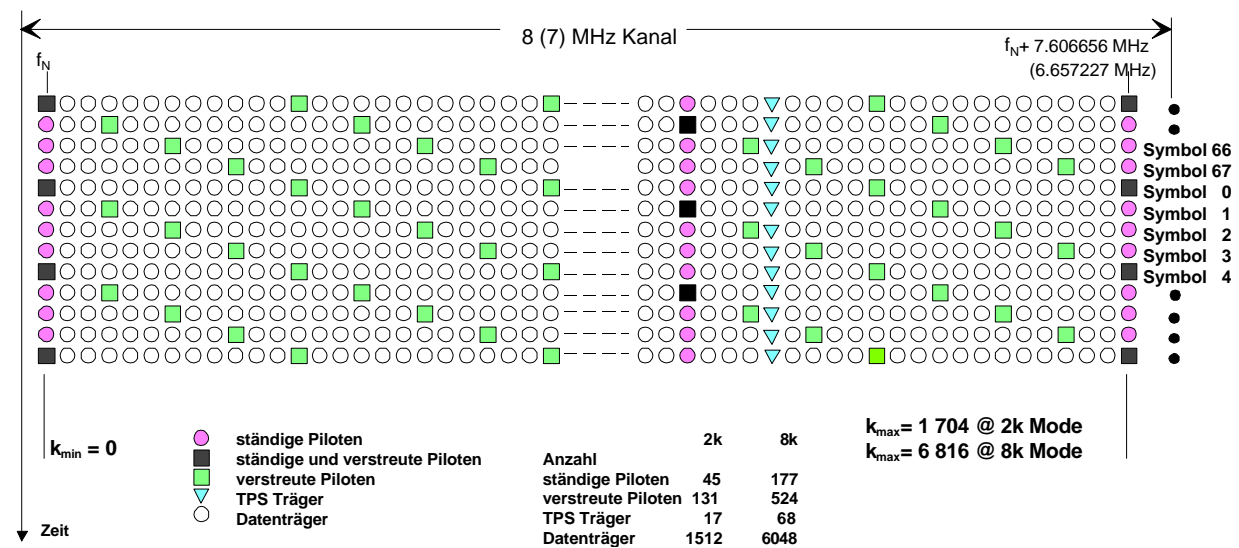


Bild 4.7 Struktur der DVB-T Symbole

Die Anzahl der verstreuten Piloten berechnet sich mit Hilfe der Gleichung

$$k = k_{\min} + 3 \cdot (l \bmod 4) + 12 \cdot p \quad \text{Gl 1}$$

wobei k den Index des COFDM Trägers zählt, der als verstreuter Pilot definiert ist
 l der Index des COFDM Symbols ist mit $0 < l < 67$

p der Index der COFDM Träger ist mit $k_{\min} < p < k_{\max}$ und $k_{\min} = 0$ und $k_{\max} = 6816$ für den 8k Mode und $k_{\max} = 1704$ für den 2k Mode gilt. Der resultierende Wert für k darf dabei den Bereich $k_{\min} < k < k_{\max}$ nicht verlassen.

Bei der Berechnung zeigt sich, daß in den Symbolen mit $(l \bmod 4) = 0$ die Anzahl der verstreuten Piloten 569 beträgt, bei allen anderen Symbolen nur 568.

In Symbolen mit $(l \bmod 4) = 0$ überlappen sich 45 verstreute Piloten im 8k Mode und 12 verstreute Piloten im 2k Mode mit den fest definierten ständigen Piloten, während in den anderen Symbolen sich 44 verstreute Piloten im 8k Mode und 11 verstreute Piloten im 2k Mode überdecken.

4.2.9 Mapping

4.2.9.1 Die Konstellationsdiagramme bei DVB-T (nicht hierarchisch)

Die nach der Norm EN 300 744 zulässigen Werte innerhalb der drei Modulationsarten

QPSK		16 QAM				64 QAM							
Q	I	Q				Q							
10	00	1000	1010	0010	0000	100000	100010	101010	101000	001000	001010	000010	000000
11	01	1001	1011	0011	0001	100001	100011	101011	101001	001001	001011	000011	000001
		1101	1111	0111	0101	100101	100111	101111	101101	001101	001111	000111	000101
		1100	1110	0110	0100	100100	100110	101110	101100	001100	001110	000110	000100
						110100	110110	111110	111100	011100	011110	010110	010100
						110101	110111	111111	111101	011101	011111	010111	010101
						110001	110011	111011	111001	011001	011011	010011	010001
						110000	110010	111010	111000	011000	011010	010010	010000

Bild 4.8 I/Q Wertepaare im Constellationsdiagramm

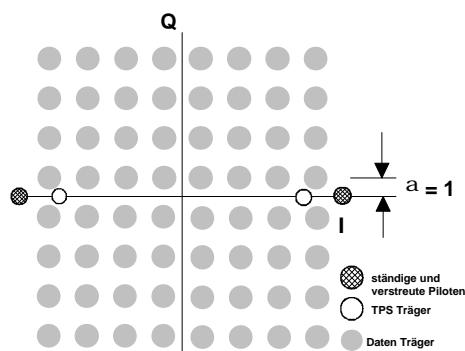


Bild 4.9 Constellationsdiagramm mit Piloten und TPS Trägern, nicht hierarchisch

Obwohl DVB mit unterdrücktem Träger arbeitet, ist die Phaseninformation leicht zu rekonstruieren. Die Piloten sind nur in Richtung I-Achse moduliert und geben daher die Phasenlage direkt an.

Im Funktionsblock "Mapping" wird die Zuordnung der I/Q Wertepaare gemäß Bild 4.8 durchgeführt.

Projeziert man innerhalb eines Symbols alle auf die Datenträger und Piloten modulierten I/Q Wertepaare auf eine Ebene, so entsteht im Fall 64 QAM das nicht hierarchische Constellationsdiagramm wie in Bild 4.9 dargestellt:

sind in dem folgenden Bild dargestellt. Zu beachten ist, daß bei DVB-T keine Differenzkodierung für die beiden MSBs (Most Significant Bits) angewandt ist. Die Wertezuordnung ist daher nicht wie in DVB-C definiert.

4.2.9.2 Das Blockdiagramm und die Funktion von "DVB-T hierarchisch"

Welchen Vorteil bringt die hierarchische Modulation?

Als erstes gilt: mit diesem Prinzip können zwei von einander unabhängige Transportströme im selben HF Kanal übertragen werden.

Als zweites: Durch das Auseinanderrücken der I/Q Wertepaarwolken an den I und Q Achsen wird die Rauschreserve zwischen den einzelnen Quadranten (bezogen auf den Abstand der I/Q Wertepaarwolken im Quadranten) um einen Faktor, der von $\alpha = 1, 2$ oder 4 abhängig ist, größer. Die zwei Bit des Pfades mit hoher Priorität bestimmen den Quadranten innerhalb

des I/Q Koordinatensystems, in den die I/Q Wertepaarwolken im Pfad niedriger Priorität abgebildet werden. So wird über den Quadranten QPSK moduliert der Pfad hoher Priorität übertragen, während die Lage des I/Q Wertepaares im Quadranten in 16 QAM den Pfad mit niedriger Priorität wiedergibt.

Somit haben die QPSK modulierten I/Q Wertepaarwolken zumindest bei $\alpha = 2$ und 4 einen $7/4$ oder $14/5$ fach so großen Abstand als die in 16 QAM übertragenen "Wolken", wie aus der Geometrie der Constellationsdiagramme leicht abgeleitet werden kann. Die Empfangssicherheit ist damit wesentlich gesteigert.

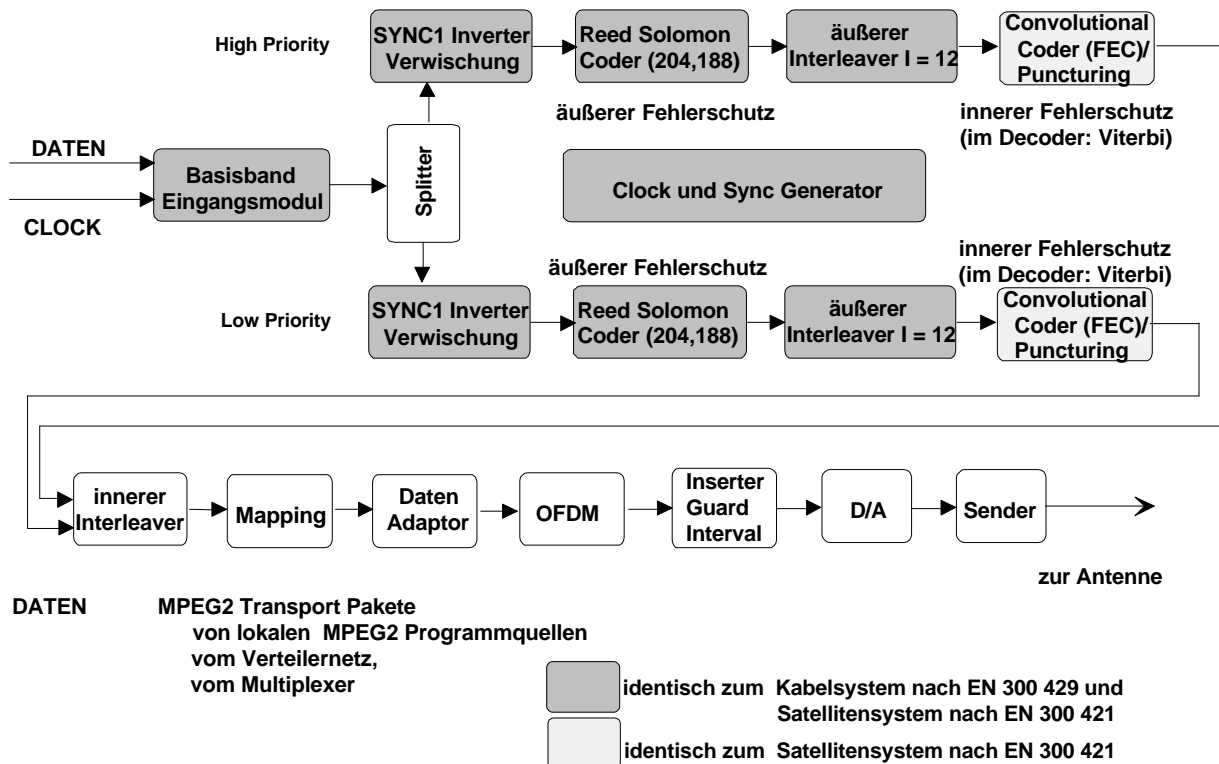


Bild 4.10 Das Blockdiagramm eines hierarchischen DVB-T Senders

Die TS Pakete gelangen über das Eingangsmodul zu einem Splitter, der die TS Pakete von unterschiedlichen Programmen trennt und den Zweigen mit hoher Priorität bzw. niedriger Priorität zuweist. Möglich ist auch über zwei getrennte Basisband-Eingangsmodule zwei zu synchronisierende Transportströme in die nachfolgenden Signalverarbeitungsmodule einzuspeisen.

Die nachfolgenden Signalverarbeitungsmodule in den beiden Zweigen mit hoher Priorität bzw. niedriger Priorität (von SYNC INVERTER und VERWISCHUNG bis CONVOLUTIONAL CODER und PUNCTURING) sind wie im nicht hierarchischen System teilweise identisch zu DVB-C und ganz identisch zu DVB-S.

Die hierarchische Modulation ist nur bei 16 oder 64 QAM im DVB-T System möglich. Im Falle 64 QAM werden zwei der 6 Bit pro I/Q Wertepaar für den Pfad mit hoher Priorität und die restlichen 4 Bit für den Pfad mit niedriger Priorität verwendet. Bei 16 QAM ist die Aufteilung 2 und 2 Bit pro Pfad.

Die Zusammenfassung der beiden bis hier unabhängig voneinander codierten Pfade geschieht im "Inneren Interleaver", der aus den Demultiplexern, Bitinterleavern und dem Symbolinterleaver besteht.

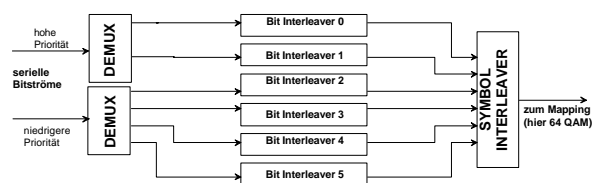


Bild 4.11 Der innere Interleaver eines hierarchischen DVB-T Senders

Im Funktionsblock Mapping wird die hierarchische Modulation durchgeführt, die - als Beispiel - bei 64 QAM zu folgendem über alle Träger im Symbol projizierten Constellations-Diagramm führt:

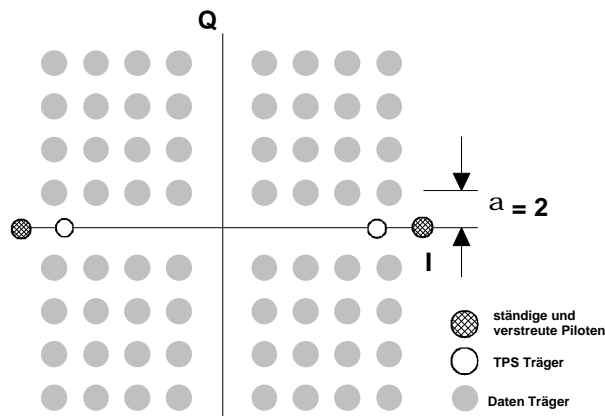


Bild 4.12 Konstellationsdiagramm mit Piloten und TPS Trägern hierarchisch und $\alpha = 2$

Der Abstand der I/Q Wertepaarwolken ist durch den Parameter α definiert. α kann die Werte 1,2 und 4 annehmen.

Auch $\alpha = 1$ ist bei der hierarchischen Modulation zulässig.

4.2.10 Der Datenadapter

Im Symbolinterleaver sind im Spektrum Lücken für die Piloten und die TPS Träger freigelassen worden. Der Datenadapter füllt diese Lücken nun auf. Bei den Piloten unterscheidet man die stetigen (continual) Piloten, die der Frequenzsynchronisation eines DVB-T Symbols im Empfänger dienen und die verstreuten (scattered) Piloten, anhand derer die Kanalschätzung für Amplitude und Phase im Symbol vorgenommen wird.

Die stetigen Piloten sind in einer Tabelle in der DVB-T Norm EN 300 744 festgelegt, während sich die Lage der verstreuten Piloten anhand der Gleichung Gl 1

$$k = k_{\min} + 3 \cdot (I \bmod 4) + 12p$$

berechnen lässt,

wobei

k der Index des COFDM Trägers ist, der als verstreuter Pilot definiert ist

I der Index des COFDM Symbols im Symbolrahmen $0 < I < 67$ ist

p der Index der COFDM Träger ist mit

$$k_{\min} < p < k_{\max} \text{ und}$$

$$k_{\min} = 0 \text{ und } k_{\max} = 6816 \text{ für den 8k Mode und}$$

$$k_{\min} = 0 \text{ und } k_{\max} = 1704 \text{ für den 2k Mode gilt.}$$

Der resultierende Wert für k darf dabei den Bereich $k_{\min} < k < k_{\max}$ nicht verlassen.

Bei der Berechnung zeigt sich, daß im 8k Mode in den Symbolen mit $(I \bmod 4) = 0$ die Anzahl der

verstreuten Piloten 569 beträgt bei allen anderen Symbolen nur 568 und im 2k Mode in den Symbolen mit $(I \bmod 4) = 0$ die Anzahl der verstreuten Piloten 142 beträgt bei allen anderen Symbolen nur 141.

In Symbolen mit $(I \bmod 4) = 0$ überlappen sich 45 verstreute Piloten im 8k Mode und 12 verstreute Piloten im 2k Mode mit den fest definierten ständigen Piloten, während in den anderen Symbolen sich 44 verstreute Piloten im 8k Mode und 11 verstreute Piloten im 2k Mode überdecken.

Die TPS Träger sind ebenfalls tabellarisch in EN 300 744 festgelegt. 17 Träger im 2k Mode und 68 Träger im 8k Mode signalisieren bei höchstem Fehlerschutz die DVB-T Übertragungsparameter.

4.2.11 Der OFDM Modulator und das Schutzintervall

Die OFDM Modulation mittels IFFT (Inverse Fast Fourier Transformation) und entsprechender Transformation unterdrückt für jeden der Träger im 2k oder 8k Mode die Spiegelträgern. Es entsteht das sendefähige Zeitsignal mit den definierten Längen $896\mu\text{s}$ im 8k Mode und $224\mu\text{s}$ im 2k Mode pro Nutzsymbol. Mit dem Einfügen des Schutzintervalls verlängern sich die Zeiten der Symbole um je 1/4, 1/8, 1/16 bzw. 1/32 zur Gesamtsymboldauer T_{SYMBOL} . Das bis hier noch in digitaler Form vorliegende Zeitsignal der Länge T_{SYMBOL} gelangt an den D/A Wandler.

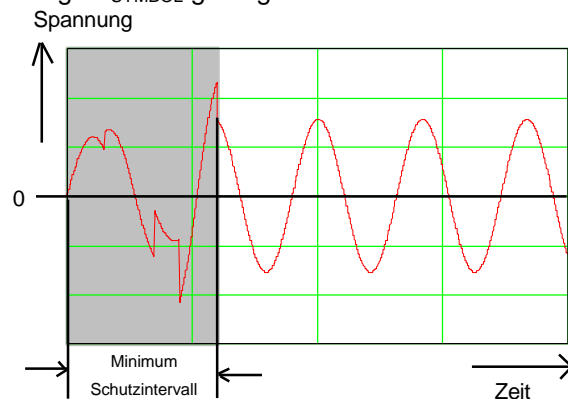


Bild 4.13 Das Schutzintervall

Bild 4.13 zeigt eine direkt empfangene Sinuswelle, die bei $t=0$ beginnt und zu der vier Echos mit unterschiedlicher Laufzeit und Reflexionsphase addiert sind. Deutlich sieht man den Start der überlagerten Echos und bis zu welchem Zeitpunkt das Schutzintervall mindestens dauern muß.

In der Dauer des Schutzintervalls müssen alle Echos wegen Mehrwegeempfangs, Empfang von anderen Sendern im SFN (Single Frequency Network), Dopplereffekte beim mobilen Empfang, eben alle sogenannten Fadingeffekte eingeschwungen oder abgeklungen sein. Dann erst ist das übertragene Symbol auswertbar.

Das analoge Signal wird noch in den HF-Bereich umgesetzt, verstärkt und über die Antenne abgestrahlt.

4.2.12 Tabelle über die wichtigsten Daten von DVB-T

Die Tabelle 4.5 zeigt, daß die Signalbandbreite in beiden Modi gleich ist. Der erste und der letzte Träger im Symbol sind Piloten mit konstanter Information, also reine Sinusschwingungen mit theoretisch unendlich kleiner Bandbreite. Daher bestimmen nur n-1 Träger die Gesamtbandbreite.

Die Piloten und die TPS Träger vermindern die Trägeranzahl zur Nutzdatenübertragung um 11.3 %, die Schutzintervalle um zusätzlich 20% ($\tau = 1/4$), 11.1% ($\tau = 1/8$), 5.9% ($\tau = 1/16$) und 3.0% ($\tau = 1/32$). Dies bedeutet eine wesentliche Verminderung der übertragbaren Nutzdaten, aber eine wesentliche Verbesserung Übertragungssicherheit.

Allgemeine DVB-T Daten	S Träger	verstreute Pilote	ständige Pilote	TPS Träger	Anzahl Nutzträger C_{Nutz}
DVB-T 2k Mode	1705	131	45	17	1512
DVB-T 8k Mode	6817	524	177	68	6048

Allgemeine DVB-T Daten	Trägerabstand Hz	Gesamtbandbreite Hz	Nutzsymbol-dauer μs	Symboldauer $T_{symbol} \mu s$ bei Schutzintervall		Schutzintervall μs
DVB-T 2k Mode	4 464,286	1704 x 4 464,286 = 7 607 142.9	224	280 252 238 231	1/4 1/8 1/16 1/32	56 28 14 7
DVB-T 8k Mode	1 116,071	6816 x 1 116,071 = 7 607 142.9	896	1120 1008 952 924	1/4 1/8 1/16 1/32	224 112 56 28

Tabelle 4.5

4.2.13 Die erreichbaren Nettodaten - Raten

Die erreichbaren Nettodatenraten lassen sich mit der Gleichung Gl 2

$$BR_{Netto} = C_{Nutz} * \lg(M) * P * \frac{188}{204} * \frac{1}{T_{Symbol}} \quad \text{Gl 2}$$

schnell und einfach errechnen.

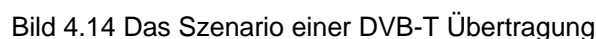
Für die DVB-T Modi 2k und 8k ergeben sich dabei dieselben Werte, weil sich die entsprechenden Parameter über den Faktor 4 beim Trägerabstand und den Faktor 1/4 bei Nutzsymboldauer und Schutzintervall angleichen.

Nettodaten-Raten BR _{Netto} MBit/s	Schutz- intervall	Punktierung P				
		1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
QPSK (M=4)	1/4	4.9765	6.6353	7.4647	8.2941	8.7088
	1/8	5.5294	7.3725	8.2941	9.2157	9.6765
	1/16	5.8547	7.8062	8.7820	9.7578	10.2457
	1/32	6.0321	8.0428	9.0481	10.0535	10.5561
16 QAM (M=16)	1/4	9.9529	13.2706	14.9294	16.5882	17.4176
	1/8	11.0588	14.7451	16.5882	18.4314	19.3529
	1/16	11.7093	15.6125	17.5640	19.5156	20.4913
	1/32	12.0642	16.0856	18.0963	20.1070	21.1123
64 QAM (M=64)	1/4	14.9294	19.9059	22.3941	24.8824	26.1265
	1/8	16.5882	22.1176	24.8824	27.6471	29.0294
	1/16	17.5640	23.4187	26.3460	29.2734	30.7370
	1/32	18.0963	24.1283	27.1444	30.1604	31.6684

Tabelle 4.6

Die Parameter Trägeranzahl, Schutzintervall, QPSK und QAM Mode und Code Rate (auch Punktierungsrate genannt) sind bei DVB-T genau definiert. Aus diesem Grunde sind auch nur genau definierte Datenraten möglich, wie in Tabelle 4.6 dargestellt.

Meßpunkte in einem DVB-T Sendernetz vom Studio bis zur Antenne beschrieben zusammen mit der nötigen Meßtechnik und den Meßmethoden, die im Vergleich zum analogen Fernsehen doch sehr unterschiedlich sind.



jeweils mit den Software - Optionen zur detaillierten Zustandsanzeige sind die im Teil 1 "Messungen in MPEG2" beschriebenen Parameter bereits ermittelt und das MPEG2 Protokoll ist überwacht. Desgleichen ist auch die Zubringerstrecke zwischen Studioausgang und Sendereingang vermessen. Es bleiben noch die Messungen am DVB-T Sender selbst offen.

Dazu sind zuerst die Meßpunkte und die zugehörigen Parameter zu definieren.

DVG MPEG2 MEASUREMENT GENERATOR

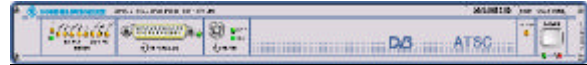
Kurzdaten der MPEG2 Geräte, deren Funktionen im Teil 1 "Messungen in MPEG2" beschrieben sind.

DVMD MPEG2 MEASUREMENT DECODER



Eingangssignale	TS nach ISO/IEC 13 818-1
Länge der TS	
DVB	188/204 Bytes
ATSC	188/208 Bytes
Datenraten des TS	bis zu 54 Mbit/s
Signaleingänge	
DVB	1x SPI 2x ASI
ATSC	1x SPI 1x ASI
Messungen	1x SMPTE 310 Parameter nach ETR290 (für ATSC angepaßt) TS Protokoll Datenraten von Gesamt TS Programmen und Einzelströmen (PID) Überwachung TS_ID "Other Tables" (DVB) Paradigma Bedingung (nur ATSC) Trigger on Error
Decoderausgänge	2x FBAS, 1x Y/C
Video	1x ITU 601,
Audio	1x AES/EBU
Schnittstellen	2x analog Audio R/L RS 232-C

DVRM MPEG2 REAL TIME MONITOR



Eingangssignale	TS nach ISO/IEC 13 818-1
Länge der TS	
DVB	188/204 Bytes
ATSC	188/208 Bytes
Datenraten des TS	bis zu 54 Mbit/s
Signaleingänge	
DVB	1x SPI 2x ASI
ATSC	1x SPI 1x ASI
Messungen	1x SMPTE 310 Parameter nach ETR290 (für ATSC angepaßt) TS Protokoll Datenraten von Gesamt TS Programmen und Einzelströmen (PID) Überwachung TS_ID "Other Tables" (nur DVB) Paradigma Bedingung (nur ATSC) Trigger on Error
Decoderausgänge	2x FBAS, 1x Y/C
Video	1x ITU 601,
Audio	1x AES/EBU
Schnittstellen	2x analog Audio R/L RS 232-C
Meldeausgänge	12 Relaiskontakte

DVQ DIGITAL VIDEO QUALITY ANALYSER



Signaleingänge	ASI (aktiv durchgeschleift) SPI
Videoformate	ITU-R BT. 601 und AES/EBU MPEG2 MP@ML 422P@ML
Audioformate	MPEG1 Layer 1 und 2 Dolby® AC-3
aufgezeichnete Ereignisse	Tonausfall R/L, getrennt Bildausfall Bildstillstand Qualitätsschwellwert unterschritten zeitliche Bildaktivität (TA) Komplexität des Bildaufbaues (SA) digitale Bildqualität unbewertet und bewertet nach subjektiver Wahrnehmung
Echtzeitmeßwerte	
Zwischenspeicher für ES	32 Mbit
Fernsteuerschnittstellen	RS 232-C
Alarmausgänge	10baseT (Ethernet) 12 Relaiskontakte

DVG MPEG2 MEASUREMENT GENERATOR



Ausgangssignale	TS nach ISO/IEC 13 818-1
Länge der TS	
DVB	188/204 Bytes
ATSC	188/208 Bytes
Datenraten des TS	0.6...160 Mbit/s
Gesamtdatenrate der ES	bis zu 32 Mbit/s
Gesamtdatenmenge der ES	bis zu 228 Mbit
Signalvorrat	Live Bildsequenzen dynamische Meßsequenzen statische Meßsignale mit Audiomeßsignalen spezielle Testsignale TS mit mehreren Programmen
Signalausgänge	
DVB	1x SPI 2x ASI
ATSC	1x SPI 1x ASI 1x SMPTE 310
Schnittstellen des internen PC	Tastatur VGA Monitor 2x RS 232-C Drucker parallel PCMCIA

4.3.1 Messungen am Sendereingang

Der erste Meßpunkt ist der Sendereingang. Die über Richtfunk, Satellit, Glasfaser usw. ankommenden MPEG2 Transportströme TS werden von hier aus an den DVB-T Modulator weitergereicht. Zur optimalen Senderüberwachung ist die Auswertung der MPEG2 Parameter und des TS Protokolls sinnvoll. Es muß auf jeden Fall sichergestellt sein, daß die zur Ausstrahlung verarbeiteten Daten auch wirklich die vorgesehenen Programme und Daten enthalten, und daß die vom Studio gelieferte Bildqualität wirklich sendefähig ist. Besonders beim Betrieb mit einem "statistical multiplex" darf unter den schlechtesten Bedingungen die minimale, durch die MPEG2 Codierung bestimmte Bildqualität nicht unterschritten werden. Die zur Messung anstehenden Parameter sind daher am Sendereingang:

- alle im MONITORING/REPORT eingetragenen Ereignisse
- PAT, CAT, NIT, PMT, SDT und EIT die Verwechslungen von TS aufzeigen, MIP mit den relevanten SFN Synchronisierungsdaten und den Modulatoreinstellungen, Übereinstimmung von NIT und MIP Informationen
- Identifikationen von TS, Übertragungsmedien und Übertragungsnetzen
- Datenraten des ankommenden TS und der Elemente der einzelnen Programme und nicht zuletzt auch
- Bildqualität gemessen an MPEG2 - Artefakten.

Ein kleines Meßsystem übernimmt diese Aufgabe natürlich PC gesteuert und als Fernüberwachung ausgelegt für ein SFN (Single Frequency Network) mit m Sendern:

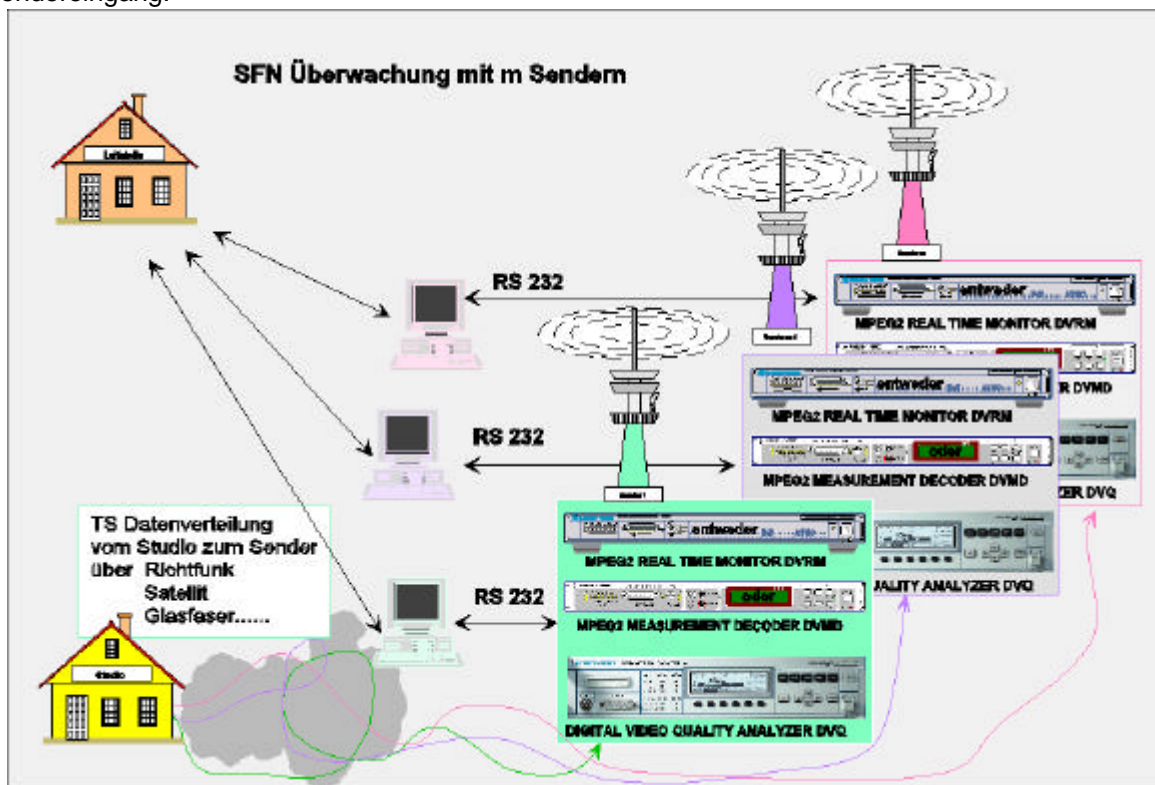


Bild 4.15 SFN Sendereingangsüberwachung

Jedem Sender im SFN wird ein Überwachungssystem zugeordnet, das aus einem PC, dem DVMD MPEG2 MEASUREMENT DECODER oder dem DVRM MPEG2 REAL TIME MONITOR und dem DVQ DIGITAL VIDEO QUALITY ANALYSER besteht. Mit dieser Konfiguration läßt sich der TS am Eingang eines jeden Senders optimal auf die Einhaltung der Vorgaben des Programm-anbieters im Netz überwachen. Am

Sendereingang ist es ausreichend die einzelnen Programme und Daten im TS nacheinander zu analysieren, in dem die PIDs der zugehörigen PMTs aufgerufen werden. Am Studioausgang dagegen sollte für ein echtes "Monitoring" für jedes zu überwachende Programm ein eigener MPEG2 Analysator vom Typ DVMD oder DVRM bzw. ein eigener MPEG2 Qualitätsanalysator vom Typ DVQ vorhanden sein. Für die Bildqualitätsanalyse mehrerer Programme

empfehlte sich der Multi Channel Video Quality Analyzer DVQM, in dem bis zu 12 DVQ platzsparend integriert sind (siehe auch Teil 1 MPEG2 Messungen).

Die Meß- und Überwachungsdaten gelangen zunächst über eine Fernsteuerschnittstelle in den Stationsrechner, der nicht nur das Management der TS Eingangsdaten, sondern auch für alle weiteren Meß- und Organisationsaufgaben im Sender zuständig ist. Von dort werden die Daten über ATM/SDH-PDH oder Internet oder ein anderes Übertragungsmedium zur SFN Leitstelle gesandt und zentral ausgewertet. Hier hat der Netzbetreiber jederzeit den Überblick über den momentanen Zustand des Gesamtnetzes.

Nicht nur das Protokoll der MPEG2 codierten Programme und Daten innerhalb des TS sind damit offengelegt, sondern auch der Inhalt des MIP (Megaframe Initialisation Packet) ist am Sendereingang - übrigens besteht hier die letzte Korrekturmöglichkeit - nochmals überprüft. Der DVMD MPEG2 MEASUREMENT DECODER öffnet die TS Pakete mit der Adresse 0x15 und überwacht und interpretiert die zur Synchronisation nötige Information für das SFN (siehe auch Teil 1 MPEG2 Messungen)

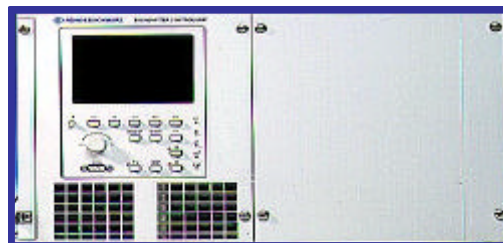
4.4 Messungen am DVB-T Steuersender

Der zu sendende Transportstrom TS ist über die Schnittstelle ASI mit dem Eingang des DVB-T Steuersenders verbunden. Zunächst wird der Inhalt des MIP decodiert. Das MIP beinhaltet auch die Konfigurationsdaten für den DVB-T Coder- und Modulator. Daher kann diese Information auch zum Einstellen der Betriebsart verwendet werden. Trotzdem ist Vorsicht geboten, weil die NIT (Network Information Table) ebenfalls diese Daten überträgt und eine Übereinstimmung der Informationen unabdingbar ist. Die Übereinstimmung wurde schon unter "3.1 Messungen am Sendereingang" kontrolliert. Der DVB-T Empfänger wertet die Daten der NIT aus und würde bei Abweichungen der MIP Daten nicht demodulieren und decodieren können. Ein im SFN eingesetzter DVB-T Modulator synchronisiert sich auf die Zeitbedingungen über den Zeitstempel STS (System Time Stamp) im MIP. Danach folgt die Signalaufbereitung gemäß EN 300 744.

Der Vorentzerrer erhält das nach obiger Prozedur erzeugte digitale Basisbandsignal in Real- und Imaginärteil. Er unterstützt die optimale Entzerrung des Amplitudenfrequenzganges und der Gruppenlaufzeit sowie der Linearität der Leistungsverstärker. Mit entsprechender Veränderung der Momentanamplitude und der zugehörigen Phase erreicht man am Ausgang

der Leistungsverstärker die nötige hohe Linearität in Kennlinie und Frequenzgang des DVB-T Senders. Nach der D/A Wandlung des digital vorverzerrten DVB-T Signals folgt die direkte Umsetzung in die HF Lage. Es wird kein ZF Signal mehr erzeugt.

Der DVB-T Steuersender SV 700



Kurzdaten SV 700

DVB-T Encoder	
Eingangssignal	MPEG2 Transportstrom
Codierung/Modulation	nach EN 300 744
Bandbreite	6, 7 oder 8 MHz
Einstellung der Parameter	über RS 232 oder MIP
Signalüberwachung am Eingang	TS vorhanden TS synchronisiert TS Datenrate
SFN Tauglichkeit	gemäß TS 101 191
Laufzeitkorrektur	maximal 1000 ms, automatisch oder manuell für LP und HP Datenstrom
hierarchische Kodierung	optional
Digitaler Vorentzerrer	
Gruppenlaufzeit-entzerrer	im Basisband (optional)
Linearitätsentzerrer	im Basisband
Synthesiser	
Frequenzbereich	Band III, IV und V
Interne Stabilität	1.2×10^{-7} / 4 Monate
Referenz	intern: OXCO (10 MHz) extern: GPS externe Referenz
I/Q Modulator	
Modulation	direkte Modulation in die HF
Eingänge	
HP	ASI
LP	ASI
Ausgänge	
HF	DVB - T Band III, IV oder V, 13 dBm thermische Leistung
Überwachungsausgänge	
HF	DVB - T Band III, IV oder V, -7 dBm thermische Leistung
Frequenzreferenz	10 MHz OXCO, 0 dBm
I / Q	komplexes analoges Basisbandsignal 0 dBm
Schnittstellen	
	RS 232

