

**TV Digital
Rezepte
Teil 1
ITU-R BT. 601/656 und
MPEG2**

Inhaltsverzeichnis

1.1	Vorwort	3
1.2	Digitalisierung von Video nach ITU-R BT.601/656.....	4
1.3	Meßtechnik zu ITU-R BT.601/656	5
1.4	MPEG2 Datenkodierung gemäß ISO/IEC 13818-2	7
1.5	Tonkodierung gemäß ISO/IEC 13818-3	8
1.6	Tonkodierung gemäß Dolby AC-3	9
1.7	PES (Packetized Elementary Stream)	9
1.8	TS (Transport Stream)	10
1.9	Der MPEG2 Multiplexer	10
1.10	Die PSI/SI Tabellen	11
1.10.1	PSI Tabellen gemäß ISO/IEC 13818-1	11
1.10.2	SI Tabellen gemäß ETS 300 468	11
1.10.3	Sonder-Tabellen	12
1.10.4	Sonder TS-Pakete	12
1.10.5	Wiederholraten von Zeitmarken und Tabellen bei DVB	13
1.10.6	SI Tabellen für ATSC	13
1.10.7	Wiederholraten der PSIP Tabellen bei ATSC	14
1.11	Meßtechnik für das MPEG2- Protokoll	15
1.11.1	Der MPEG2 Generator DVG	15
1.11.2	DVG B1 Stream Combiner	15
1.11.3	Der DTV Recorder-Generator DVRG	16
1.11.3.1	Getriggerte TS Aufzeichnung	16
1.11.3.2	Testsignale	17
1.11.3.3	Bedienung	17
1.11.4	Der MPEG2 Analysator	17
1.11.5	Messungen mit DVMD und DVRM	19
1.11.6	Die OSDs des DVMD zur Protokollüberwachung	20
1.11.7	DVMD-B1 Stream Explorer®	23
1.12	Bildqualitätsanalyse	25
1.12.1	Messungen mit DVQ und DVQM	26
1.12.2	DVQ B1 QUALITY EXPLORER®	28
1.13	Schnittstellen gemäß EN 50 083-9	32
1.13.1	SPI Synchronous Parallel Interface	32
1.13.2	SSI Synchronous Serial Interface	32
1.13.3	ASI Asynchronous Serial Interface	32
1.13.4	SDTI Serial Digital Transport Interface nach SMPTE 326M	33
1.13.5	HDB3 High Density Bipolar of order 3	34
1.13.6	ATM über SDH/PDH	34
1.13.7	Bewertung der Schnittstellen	35
1.14	Meßsysteme für MPEG2	36
1.14.1	Getriggerte Datenaufzeichnung	36
1.14.2	Überwachung der TS am Studioausgang	36
1.14.3	Einfache Studioausgang-Überwachung	37
1.15	Zusammenfassung der MPEG2 spezifischen Messungen	38

1.1 Vorwort

In der analogen Fernsehwelt nimmt die Kamera das Bild als R,G und B Komponentensignale auf. Diese Signale gelangen zur Nachbearbeitung in das Studio, wo sie in die PAL, SECAM oder NTSC Norm als FBAS -Signal umgesetzt werden. Das im Sender ZF-modulierte und in die HF umgesetzte Signal strahlt die Antenne - ein Programm pro Kanal - ab. Die Meßtechnik für dieses System vom Basisband im Studio bis in die HF im TV Sender ist wohlbekannt.

Doch wie sind die Verhältnisse beim „digitalen Fernsehen“?

Dazu ist zuerst die Beschreibung des gesamten Systems "Digitales Fernsehen" wichtig, um seine Besonderheiten kennenzulernen, danach werden die Meßparameter, die Meßmethoden und die zugehörigen Meßgeräte erläutert.

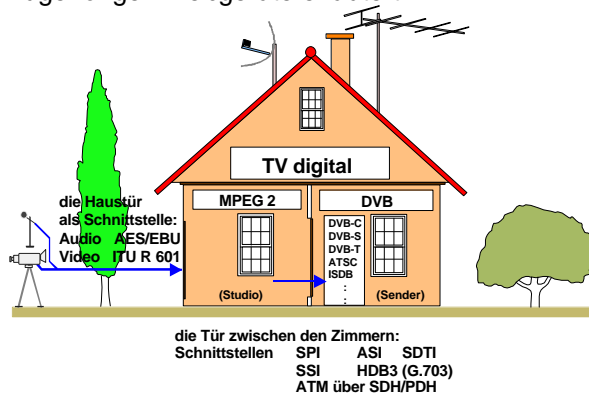


Bild 1.1 Das Haus "Digitales Fernsehen"

Die von der Fernsehkamera erzeugten RGB Signale und die zugehörigen Tonkanäle werden sofort digitalisiert, gemäß den Standards ITU-R BT. 601/656 (International Telecommunication Union) für die Bildinformation und AES/EBU (Audio Engineering Society / European Broadcasting Union) für den Ton. Beide Signale werden entweder über getrennte Leitungen dem ersten Raum "MPEG2" (Motion Picture Experts Group) im Haus "Digitales Fernsehen" zugeführt oder der Tonkanal kann auch in die digitale Austastlücke des ITU-R BT. 601/656 Signals eingefügt sein. Bereits hier muß Meßtechnik verfügbar sein um die Forderungen der Normen zur Digitalisierung von Bild und Ton zu überprüfen und zu garantieren.

Mit den standardkonformen Signalen nach ITU-R BT. 601/656 und AES/EBU betreten wir den ersten Raum "MPEG2" des Hauses. Hier stehen die Koder zur Datenreduktion für Bild und Ton. Die digitale Videoschnittstelle ITU-R BT. 601/656 hat eine Datenrate von 270 Mbit/s und damit viel zu groß um über Fernsehkanäle mit 7 oder 8 MHz Bandbreite übertragen zu werden. Über die Datenkodierung für das Bild gemäß der Norm ISO/IEC 13 818, (International Organisation for Standardisation / International Electrotechnical Commission), die die MPEG2 Kodierung in neun Teilen ausführlich beschreibt und der Tonkodierung nach ISO/MPEG 11 172 (diese Norm ist Bezug für die in ISO/IEC13818-3 beschriebene Tonkodierung) mit dem MUSICAM (Masking pattern adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing) Verfahren erreicht man die nötige Datenreduzierung. Die MPEG2 Kodierung ermöglicht fast ohne sichtbare Bildqualitäts-verringerung eine Datenreduktion von 270 Mbit/s auf etwa 3 bis 5 Mbit/s. Nach diesen Bearbeitungsschritten und entsprechenden Modulationsarten reichen die oben genannten Bandbreiten aus um etwa 6 bis zu 12 Programme in einem Kanal zu übertragen. Der Ton kann als Alternative auch in Dolby AC-3 kodiert sein. In Australien, sowie möglicherweise später auch in Europa, sind beide Kodierungsarten möglich. Im amerikanischen ATSC System gilt nur die AC-3 Verarbeitung. Auf DVD's gespeicherte Bilder und Töne benutzen heute schon weltweit das Dolby AC-3 System mit Dolby Surround bis hin zum 5.1 Mode (5 Audiokanäle und ein Kanal für sehr tiefe Frequenzen).

Beide Signale, Bild und Ton, werden zunächst auf der Basis von PES (Packetised Elementary Stream) paketisiert, darauf in Transportstrom (TS) Pakete gemultiplext und mit Informationspaketen (Tabellen) ergänzt. Je nach verfügbarer Datenrate im DVB System (Digital Video Broadcasting) können so im zu sendenden TS mehrere Programme mit Video - und Audio Information zusammengefaßt sein.

Die zugehörige Meßtechnik muß den TS vor Verlassen des ersten Raumes auf schlüssiges Protokoll und vertretbare Kodierqualität des Bildsignales überwachen.

Mit einer der Schnittstellen

SPI (Synchronous Parallel Interface),
SSI (Synchronous Serial Interface),
ASI (Asynchronous Serial Interface)
SDTI (Serial Digital Transport Interface)
HDB3 nach ITU-T G.703 (High density bipolar of order 3)
ATM über SDH/PDH
(Asynchronous Transfer Mode,
Synchronous Digital Hierarchy,
Plesiochronous Digital Hierarchy)

wird ein so generierter Transportstrom vom ersten Raum "MPEG2" des Hauses "Digitales Fernsehen" in den zweiten Raum "DVB" durchgereicht.

Hier stehen die Modulatoren für die unterschiedlichen Modulationsarten. Heute existieren weltweit bereits einige Systeme:

in Europa und anderen Ländern z.B. Australien

DVB - C für Kabelübertragung
DVB - S für Satellitenübertragung
DVB - T für terrestrische Übertragung

in Nord und Mittelamerika

ITU - T J.83/B für Kabelübertragung
ITU - R BO.1294/B für Satellitenübertragung
(auch unter dem amerikanischen Namen DirecTV bzw. DSS bekannt (Direct Satellite System)) und
DVB - S (auch in Nordamerika üblich)
ATSC mit 8 VSB für terrestrische Übertragung (Advanced Television Systems Committee), (Vestigial Side Band)

in Japan

ISDB - T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial)
ISDB - S (Integrated Services Digital Broadcasting - Satellite)

Viele Länder der Welt haben sich bis heute noch nicht für eine der genannten Normen entschieden.

Nach der Modulation und der Umsetzung in die HF liefert der Steuersender das Signal für die Leistungsverstärker. Von dort aus wird das Signal in die Kabelanlage, in die Satelliten-Uplink bzw. in die terrestrische Sendeantenne eingespeist. Das Signal hat jetzt das Haus "Digitales Fernsehen" in Richtung Zuschauer am Bildschirm verlassen.

Auch hier ist Meßtechnik ein absolutes Muß, damit die Modulations- und Übertragungsparameter zu jeder Zeit den ungestörten Empfang der diversen Programme des gesendeten TS gewährleisten.

In modernen Studios werden Kameras verwendet, die direkt nach den Sensoren für RGB die Farbsignale in die Komponenten Y, Cb und Cr schon in der digitalen Ebene umkodieren. Der Ausgang der Kameras liefert daher das Bild schon im ITU-R BT.601 Format mit digitalisierten Komponenten $Y C_B C_R$. Die zugehörige Übertragungsschnittstelle gemäß ITU-R BT.601/656 hat folgende Daten:

Standard	ITU-R BT.601/656 (4:2:2) SMPTE 125M / 259 M
Systeme	625 Zeilen/50 Hz und 525 Zeilen/59.94 Hz
Auflösung im Studio im MPEG2 Format	10 bit 8 bit
Synchronwörter TRS (Timing Reference Signal)	FF.C, 00.0, 00.0, XY.0
Schnittstelle parallel Pegel Stecker	27 Msamples/s ECL 25 pin SUB D (ISO 2110 - 1980)
Schnittstelle seriell SDI (Serial Digital Interface) Pegel Impedanz Stecker Codierung	270 Mbit / sec gemäß. D1 Format $U_{PP} = 800 \text{ mV} \pm 10\%$ 75 Ω BNC $G(x) = (x^9 + x^4 + 1)(x + 1)$ scrambled NRZI

Tabelle 1.1
Daten der Schnittstelle ITU-R BT.601/656

Neben den Daten der Schnittstelle ist auch der Signalaufbau im Vergleich zum analogen Signal wichtig:

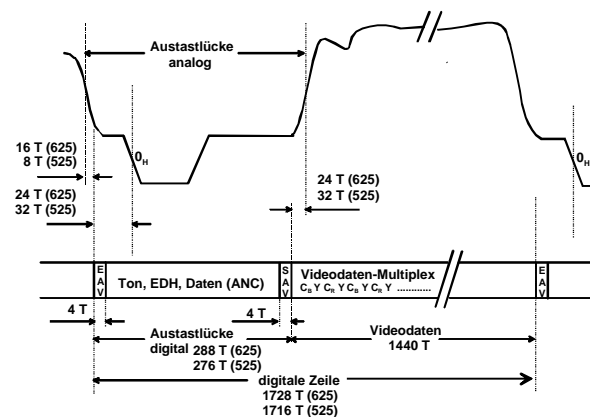


Bild 1.2 Zeitliche Lage Analog- und Digitalsignal

1.2 Digitalisierung von Video nach ITU-R BT.601/656

Zwischen den je 4 Takte langen TRS (Timing Reference Signal) EAV (End of Active Video) und SAV (Start of Active Video) liegt die im Vergleich zur analogen Austastlücke schmalere digitale. Hier können Tondaten oder Daten jeglicher Art bzw. die EDH (Error Detecting and Handling) Daten mit dem digitalisierten Videosignal übertragen werden. Die 10 (8) Bit breiten Video-daten starten am Zeilenbeginn immer mit einem C_B Wert, gefolgt von einem Y Wert und einem C_R Wert und danach weiterer Y Wert usw. Die Luminanz Y hat daher doppelte Bandbreite im Vergleich zu den Farbkomponenten C_B und C_R . Die Abtastraten sind für

Y 13.5 MHz und für
 C_B und C_R je 6.75 MHz
 und Anzahl der Samples innerhalb der aktiven digitalen Zeile für
 Y 720 und für
 C_B und C_R je 360.

Voraussetzung für eine problemlose MPEG2 - Kodierung ist die fehlerfreie Digitalisierung und Umsetzung des Kamerasignals in den ITU-R BT.601/656 Standard. Hier wird zum ersten Mal Meßtechnik verlangt, die das Digitalsignal auf Protokoll und physikalische Übertragungsparameter überwacht und vermißt.

1.3 Meßtechnik zu ITU-R BT.601/656

Der flexible Generator für ITU-R BT.601/656 Signale, der auch die in ITU-R BT.801 empfohlenen Meßsignale erzeugt, ist der CCVS GENERATOR SFF oder CCVS+ COMPONENT GENERATOR SAF jeweils mit der Option SxZ1 CCIR 601 (CCIR ist der alte Name von ITU). In der Norm ITU-R BT.801 sind spezielle Signale für Messungen in ITU-R BT.601/656 pixelgenau definiert. Ein Beispiel ist der 100/0/75/0 Farbbalken mit dem der zeitliche Aufbau und Bezug der drei Komponenten Y, Cb und Cr mit höchster Präzision wiederholbar zu bestimmen ist.



CCVS + COMPONENT GENERATOR SAF

Kurzdaten SFF/SAF

Grundgerät	
Eingänge	1 x Programm 2 x externe Daten- oder Testsignale
Testsignal-Ausgänge SAF	FBAS, Y/C (S-VHS), Y Cb Cr, R G B
SFF	FBAS
TV Standards	BG/PAL M/NTSC M/PAL N/PAL
Signale	ca.500 fest gespeichert, unbegrenzt erweiterbar mit MEMORY CARD, frei programmierbar
Videotext	5 Seiten, Kopfzeile veränderbar
Datenzeile	frei programmierbar, direkte Eingabe von VPS
Fernsteuerung	IEC 625 BUS/ IEEE488.2
Option SFF-Z1 und SAF-Z1 DIGITAL VIDEO INTERFACE	
Standard	ITU-R BT. 601/656 SMPTE 125M / 259 M
Signale	gemäß ITU-R BT.801 und alle fest gespeicherten Signale mit allen Signalveränderungen
Ausgänge parallel	1x10 bit / 27 MSamples/s Stecker 25 pol. SUB-D (ISO 2110 - 1980)
seriell	2x 270 Mbit/s Stecker BNC 75Ω

Wegen der Wichtigkeit der Meßsignale der Empfehlung ITU-R BT.801, sind sie und die SAF/SFF spezifischen ITU-R BT.601 Signale in der Tabelle 1.2 zusammen gefasst. Die genaue pixelweise Signaldefinition ist in der Norm ITU-R BT.801 definiert.

Die *kursiv* geschriebenen Signale sind spezielle ITU-R BT.601 Signale, die im CCVS GENERATOR SFF oder CCVS+ COMPONENT GENERATOR SAF mit Option SxZ1 CCIR 601 in der Signalgruppe "CCIR 601" teils zum Test der Kabelentzerrer oder der im Empfängerbaustein nachfolgenden PLL, teils Rampensignale zur Überprüfung A/D- und D/A- Wandler bei der Signalverarbeitung, nützlich sind. Die nicht kursiv geschriebenen Signale sind in der Norm ITU-R BT.801 pixelweise und damit in der exakten möglichen Form beschrieben.

ITU-R BT. 601	
1 GREY LEVEL	21 PATHOL.SIGNAL Y=088h C=100h
2 ALTERNATING BLACK/WHITE	22 PATHOL.SIGNAL Y=044h C=080h
3 EOL PULSE	23 PATHOL.SIGNAL Y=022h C=040h
4 BLACK/WHITE	24 PATHOL.SIGNAL Y=011h C=020h
5 RAMP YELLOW/GREY	25 PATHOL.SIGNAL Y=008h C=210h
6 RAMP GREY BLUE	26 PATHOL.SIGNAL Y=198h C=108h
7 RAMP CYAN GREY	27 PATHOL.SIGNAL Y=004h C=300h
8 RAMP GREY RED	28 PATHOL.SIGNAL Y=0CCh C=180h
9 RAMP CB Y CR Y	29 PATHOL.SIGNAL Y=066h C=0C0h
10 EOL BAR WHITE	30 PATHOL.SIGNAL Y=033h C=060h
11 EOL BAR BLUE	31 PATHOL.SIGNAL Y=019h C=230h
12 EOL BAR RED	32 PATHOL.SIGNAL Y=00Ch C=318h
13 EOL BAR YELLOW	33 PATHOL.SIGNAL Y=006h C=18Ch
14 EOL BAR CYAN	34 DIG.COL.BARS 100/0/100/0
15 SEQUENCE 1010	35 DIG.COL.BARS 100/0/75/0
16 SEQUENCE 11001100	36 RAMP Y
17 SEQUENCE 111000111000	37 RAMP Y CB CR
18 SDI CHECK FIELD	38 RAMP CB
19 PATHOL.SIGNAL Y=198h C=300h	39 RAMP CR
20 PATHOL.SIGNAL Y=110h C=200h	

Tabelle 1.2 Die ITU-R BT.801 und SAF/SFF spezifischen Signale

Der ideale Analysator in der ITU-R BT.601/656 Umgebung ist der
DIGITAL VIDEO COMPONENT ANALYZER
VCA.



DIGITAL VIDEO COMPONENT ANALYZER
VCA

Kurzdaten VCA

Grundgerät	
Eingänge	1 x seriell 1 x parallel
Ausgänge	aktiv durchgeschleifte Eingänge
Standards	ITU-R BT.601/656 SMPTE 125M/259M 8 / 10 bit 625 / 525 Zeilen
Oszilloskop	Waveform Line Select Waveform Numeric Dump
Messungen	TRS Error Reserved Code Error Video Range Error CRC Error C/L Gain / Delay Error
Druckeranschluß	RS-232-C / RS-422-A
Fernsteuerung (Option VCA-B1)	RS-232-C / RS-422-A
Option VCA-B11 PHYSICAL SIGNAL ANALYSIS	
zusätzlicher Eingang	1 x seriell
Messungen	Datenjitter Amplitudenspektrum Rückflußdämpfung (mit externer Meßbrücke VCA-Z1) Signalreserve Signallaufzeit

Er erfaßt das gesamte Spektrum der Protokoll-
parameter und mit der Option VCA-B11
PHYSICAL SIGNAL ANALYSIS auch die
physikalischen Eigenschaften des Signals wie

das Spektrum
die Signalamplitude
den Jitter in der Zeit - und Frequenzebene
die Signalreserve und

andere Parameter mehr. Mit der Option VCA-B1
läßt sich der VCA bequem fernsteuern und auch
die Langzeitüberwachung für TRS (Timing
Reference Signal), RCE (Reserved Code Error)
und CRC (Cyclic Redundancy Check)
durchführen.

Das Grundgerät erlaubt die Messungen über die
parallele und serielle Schnittstelle von

Dateninhalt des Signals im ITU-R BT.601
Format (NUMERIC DUMP in hex oder
dezimal) mit der Anzeige der Komponenten
Y,Cb,Cr oder R,G,B als Oszillogramm in der
gewählten Fernsehzeile (WAVEFORM)

TRS ERROR
RESERVED CODE ERROR (RCE)
VIDEO RANGE ERROR

CRC ERROR

(die letzten vier Parameter als numerische Anzeige oder als Histogramm)

C/L DELAY ERROR (Pegel und Laufzeitmessungen am Farbbalken 75/0/100/0 oder 100/0/100/0 gemäß der Spezifikation nach ITU-R BT.801)

1.4 MPEG2 Datenkodierung gemäß ISO/IEC 13818-2

Die Schnittstellen ITU-R BT.601/656 und AES/EBU öffnen die „Haustür“ zum Gebäude "Digitales Fernsehen", dessen erstes Zimmer die MPEG2 Datenkomprimierung enthält. Ziel der Komprimierung ist ohne sichtbaren Bildqualitätsverlust die Datenrate 270 Mbit/s der ITU-R BT.601/656 Schnittstelle auf 2...6 Mbit/s zu vermindern. Das gleiche gilt für das Audiosignal. Die Datenrate wird von 728 kbit/s auf typ. 192 kbit/s reduziert ohne hörbare Tonqualitätseinbußen. Sollen mehrere Tonkanäle im Programmdatenstrom vorhanden sein, sind Tondatenraten zwischen 64 kbit/s und 384 kbit/s möglich.

Die Voraussetzung für die Datenratenverminderung des Bildes ist die Zerlegung des ITU-R BT.601 Pixelrasters in Blöcke zu je 8 x 8 Pixel. Ein Block besteht dann aus 64 Pixeln wie Bild 1.3 zeigt.

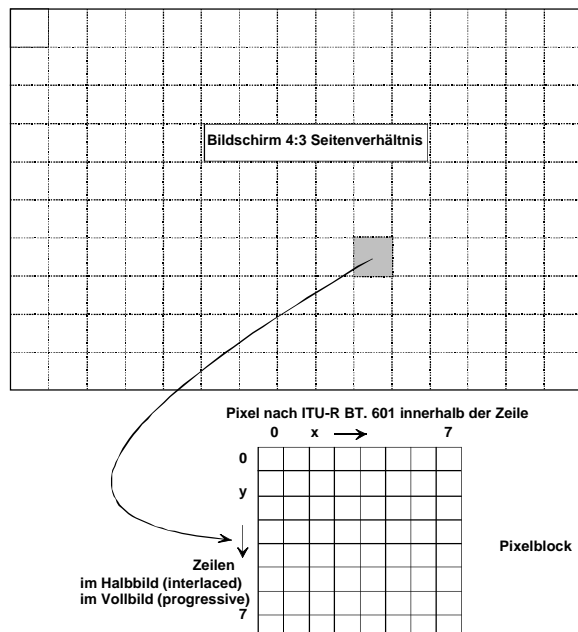


Bild 1.3 Bildzerlegung in 8x8 Pixelblöcke
Die Hauptelemente zur Datenreduktion sind bei den Bilddaten:

die DCT Diskrete Cosinus Transformation mit der Gleichung

$$G(f_x, f_y) = 0.25 * C(f_x) * C(f_y) *$$

$$\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 g(x, y) \cos((2x+1)f_x \frac{p}{16}) \cos((2y+1)f_y \frac{p}{16})$$

$$1/\sqrt{2} \text{ für } f = 0$$

f_x, f_y = Frequenzkoordinaten

$C(f)$ = und $G(f_x, f_y)$ = DCT Koeffizient

x, y = Pixel/Frequenz

$$1 \text{ für } f > 0$$

- koordinaten

$g(x, y)$ = Pixel Werte

Die Gleichung berechnet aus den 8x8 Pixelblöcken in der Zeitebene 8x8 DCT Koeffizienten in der Frequenzebene

die Quantisierung mit den Standard-Quantisierungstabellen für

intraframe kodierte Bilder (I Bilder)

		→ x							
↓		8	16	19	22	26	27	29	34
y	16	16	22	24	27	29	34	37	
	19	22	26	27	29	34	34	38	
$Q_I(x,y)$	= 22	22	26	27	29	34	37	40	
	22	26	27	29	32	35	40	48	
	26	27	29	32	35	40	48	58	
	26	27	29	34	38	46	56	69	
	27	29	35	38	46	56	69	83	

und

einfach und bidirektional prädizierte Bilder (P und B Bilder) und für die Komponenten Cb und Cr

		→ x							
↓		16	16	16	16	16	16	16	16
y	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16
$Q_{B,P}(x,y)$	= 16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16

die Zick-Zack Abtastung,

die die quantisierten und mit der Vorschrift

$$F(x, y) = INT \left[\frac{G(f_x, f_y)}{Q_{I,P,B}(x, y)} + 0.5 \right]$$

zu ganzzahlig berechneten DCT Koeffizienten $F(x,y)$ so umformt, daß möglichst lange Nullketten entstehen.

[illegible][illegible]

I - Kodierung	<p>die Bildinformation stammt nur von dem aktuellen Macroblock oder Bild</p> <p>benutzt nur DCT, Quantisierung und VLC zur Datenreduktion</p>
P - Kodierung	<p>benutzt zur Kodierung die bewegungskompensierte Prediktion vom vorhergehenden Bezugshalbbild oder Bezugsvollbild</p>

Alle 12 Werte je Block werden durch den Skalenfaktor dividiert und unter Berücksichtigung der Verdeckungseffekte quantisiert (MPEG1 Layer 1). Der Verlauf der spektralen Maskierungsschwelle wird mit Fouriertransformation mit 512 Abtastwerten berechnet. Die zeitliche Verdeckung ist bei Blöcken mit einer Länge von 8 ... 12 ms (je nach Abtaste) immer wirksam.

Tabelle 1.4 Kodierung nach MPEG1 Layer 2:

Zerlegung der Audiobandbreite in	32 gleichbreite Teilbänder
Blockverarbeitung von	36 Abtastwerten
Abtastraten	32, 44.1, 48 kHz
Dauer eines Blocks	$32 \times 36 / 48000 = 24\text{ms}$ bei (typ.) 48 kHz Abtastrate
Skalenfaktoren	2...3 je Block und Teilband wegen Dauer der zeitlichen Verdeckung (Vorverdeckung max.20 ms)
Skalenfaktor eines Blocks	Maximalwert der 36 Abtastwerte
Kenntnis Anzahl der Skalenfaktoren	2 bit
Auflösung des Skalenfaktors	6 bit
Auflösung der Abtastwerte	2...15 bit (je nach zulässigem Quantisierungsrauschen)
Quantisierung in den Teilbändern 23...26	0 (Auslöschung), 3, 5, 65535 Quantisierungsstufen
Teilbänder 27...31	unterdrückt, weil die resultierende Frequenz >20kHz ist

Alle 32 Werte je Block werden durch den Skalenfaktor dividiert und unter Berücksichtigung der Verdeckungseffekte quantisiert (MPEG1 Layer 2). Der Verlauf der spektralen Maskierungsschwelle wird mit Fouriertransformation mit 1024 Abtastwerten berechnet. Die zeitliche Verdeckung ist bei der Blockdauer > 20 ms nicht immer wirksam.

1.6 Tonkodierung gemäß Dolby AC-3

Diese Tonkodierung beinhaltet die Dolby Surround Tonaufbereitung. Sie ermöglicht bei einer Datenkomprimierung von mehr als dem Faktor 13 (typ.) im Dolby Surround Mode bis 5 quasi transparente Tonkanäle und zusätzlich noch einen Kanal für sehr tiefe Frequenzen (subwoover). Die AC-3 Kodierung eignet sich daher sehr gut um hohe Tonqualität im Heimkino zu garantieren.

Nicht zuletzt deswegen ist die AC-3 Kodierung jetzt schon als alternativer Tonkanal in die australische DVB Norm aufgenommen. In Australien sind alle angesprochenen Kodierungen möglich: MPEG1 Layer 1 und 2 und AC-3. Tabelle 1.4 zeigt einige typische Daten von AC-3:

Tabelle 1.5 Einige Daten nach AC-3

Abtastrate	32, 44.1, 48 kHz
maximale Samplingbreite	24 bit
Bitraten	19 verschiedene Raten zwischen 32...640 kbit/s
Kanalkodierung ohne Dolby Surround	3 bit Zweiton, Mono, Stereo Stereo mit Mittenkanal Stereo
mit Dolby Surround	Stereo mit Mittenkanal Stereo mit Surround L/R Stereo mit Surround L/R und Mittenkanal
Länge eines AC-3 Rahmens	1536 Samples
Dauer eines AC-3 Rahmens	
32 kHz Samplingrate	48 ms
44.1 kHz Samplingrate	34.83 ms
48 kHz Samplingrate	32 ms

Der Datenstrom am Ausgang des Tonkodierers heißt „Audio Elementarstrom“ (ES Audio).

1.7 Packetized Elementary Stream (PES)

Nach der Paketierung der Elementarströme entstehen die PES (Packetized Elementary Stream). Jedem Paket des PES ist ein Header vorangestellt, der nach dem Paket Start Code (24 bit 0000 0000 0000 0000 0000 0001) Informationen enthält über:

Inhalt des PES (Stream ID) 8 bit
In ISO/IEC 13818-1 werden in einer Tabelle die vielfältigen Möglichkeiten des PES Inhalts aufgeführt, z.B.
1110 xxxx bezieht sich auf den xxxten Videodatenstrom oder
1111 0000 identifiziert einen ECM Datenstrom (Entitlement Control Message)

Länge des PES 16 bit
definiert die Anzahl der Bytes im PES, die nach diesen 16 bit noch folgen

und in einem optionalen Feld Informationen, die mit Flags angekündigt werden, unter anderem über:

Zählerstand zur Synchronisation der System-PLL mit 27 MHz Takt,
die untersten 9 bit zählen bis 300, die restlichen 33 bit werden mit
 $27 \text{ MHz} / 300 = 90 \text{ kHz}$ getaktet
(SCR, System Clock Reference, ESCR Elementary Stream Clock Reference)

42 bit
Zeitmarken PTS und DTS je 33 bit
(Presentation Time Stamp, Decoding Time Stamp)



bestimmen den Zeitpunkt der Ausgabe bzw.,
der Dekodierung der TS Daten

Datenrate des ES 22 bit

Die paketisierten Elementarströme PES für Video und Audio sind kodiert. Da bei der MPEG2 Kodierung die horizontalen und vertikalen Austastlücken nicht berücksichtigt sind, fehlen natürlich alle Prüfzeilen und Teletext- und Datenzeilen im kodierten MPEG2 Datenstrom. Als Ersatz kann deshalb in den Daten-PES die Teletext- und Datenzeileninformation des analogen Fernsehens eingesetzt werden. Selbstverständlich ist es möglich Daten jeder Art in die Daten-PES-Container einzufüllen.

1.8 Transport Stream (TS)

Der Multiplexer zerteilt die Video-, Audio- und Daten PES und die hinzugefügten Tabellen für PSI (Program Specific Information) und SI (Service Information) in Portionen à 184 Bytes und fügt am Anfang jeder Portion einen 4 Byte Header an. Es entstehen Transport-Strom Pakete TS mit 188 Bytes Länge.

Dieser TS Header beinhaltet

das Synchronisationsbyte 0x47

TEI (Transport Error Indicator) zur Anzeige von im Demodulator nicht vollständig korrigierbaren Daten im TS Paket 1 bit

Paket Identifikations Nummer PID (Packet ID) 13 bit

Flags zur Ankündigung des optionalen "Adaptation Field" 2 bit

CC Continuity Counter
Zählerstand zur Überwachung der fortlaufenden Paketübertragung 4 bit

und andere Signalisierungsbits

und im optionalen "Adaptation Field" neben vielen Flags

PCR (Programm Clock Reference) den programm-bezogenen Zählerstand abgeleitet vom STC (System Time Clock) zur Synchronisation der System-PLL 42 bit

bzw.

OPCR (Original Programm Clock Reference) den originalen programmbezogenen Zählerstand

Diese Werte im optionalen "Adaptation Field" werden auch mit je einem bit angekündigt. Sind die Flags nicht gültig, so können im Bereich von PCR und OPCR normale Daten übertragen werden.

1.9 Der MPEG2 Multiplexer

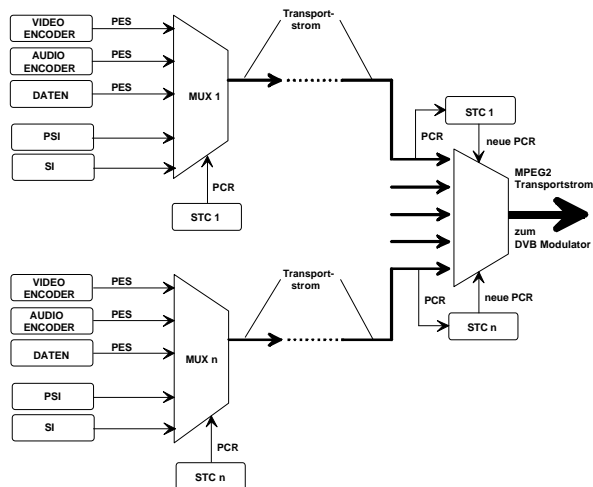


Bild 1.4 Der MPEG2 Multiplexer

Die Datenrate eines TS für ein Programm liegt bei 4...7(max.15) Mbit/s. Sie teilt sich in die Datenraten für

Video	2...6 Mbit/s
Audio	32...384(+64) kbit/s
Daten	nach Bedarf
PSI/SI Tabellen	...1 Mbit/s und
Stuffing Pakete	

auf, je nach Bild- und Tonqualität und Vielfalt der Eintragungen in die Tabellen.

Nach jetzigem Stand ist die TS Datenrate für einen DVB-Übertragungskanal (typische Werte)

im Kabel	38.153 Mbit/s (UHF)
über Satellit	bis 38.015 Mbit/s bei 27.5 MSymb/s
terrestrisch	4.98...31.67 Mbit/s.

Ein TS kann daher zwischen 5 Programme mit sehr hoher Signalqualität und 10 Programme mit niederwertigerer Signalqualität im Kabel und über Satellit übertragen, terrestrisch reduziert sich diese Zahl entsprechend auf 3 bis 6 Programme. Nach dem Verschachteln der Programme wird die vorgegebene Datenrate im Übertragungs-medium im Normalfall nie erreicht, um einen Datenüberlauf zu vermeiden. Diese restliche Datenrate wird mit "Stuffing TS Paketen" mit der PID 0x1FFF oder mit Paketen für "IP über DVB" zur reinen Datenübertragung aufgefüllt.

Einen höheren Nutzungsgrad zur Programmübertragung erreicht man mit dem „**Statistical Multiplexing**“, bei dem ein „Datenratenausgleich“ zwischen allen im Transportstrom gemultiplexten Programmen stattfindet. Programme, die im Moment wenig Datenrate benötigen, weil sie etwa nur eingefrorene Graphiken oder ähnliches

übertragen, stellen anderen Programmen mit hohem momentanen Datenratenbedarf Datenkapazität zur Verfügung. Durch diese Maßnahme können mehr Programme gleichbleibender Bildqualität in den TS gepackt werden.

1.10 Die Tabellen (PSI Programme Specific Information, SI Service Information)

Mit Hilfe der Tabellen erhält der Demultiplexer im DVB und ATSC Empfänger alle nötigen Informationen über den Übertragungskanal und den TS Inhalt. Auch wenn die Tabellen teilweise Informationen von DVB bzw. ATSC tragen, sind sie doch MPEG2 zuzuordnen, weil sie in MPEG2 TS Pakete verpackt sind.

1.10.1 PSI Tabellen gemäß ISO/IEC 13818-1

PAT	Programm Association Table (PID=0x0000, Table ID=0x00): besteht aus einer Liste aller im TS Multiplex enthaltenen Programme mit Hinweis auf PID (Packet Identifier) der PMT für diese Programme
CAT	Conditional Access Table (PID=0x0001, Table ID=0x01): Hinweis auf verschlüsselte Programme und deren Dekodierschlüssel (EMM Entitled Management Message und ECM Entitled Control Message)
PMT	Program Map Table (PID=0x0020...0x1FFE, Table ID=0x02): enthält Hinweise auf Pakete mit PCR (Program Clock Reference) eine Namensliste der Programmanbieter eine Liste der PIDs der Programmelemente (z.B. Video-, Audio- und Datenkanäle) Copyright und anderes
NIT	Network Information Table (PID=0x0010, Table ID=0x40): führt Angaben zum physikalischen Übertragungsmedium, z.B. bei DVB-S Orbit, Transpondernummer, Frequenz des Satelliten usw.
TSMT	Transport Stream Description Table (PID=0x0002, Table ID=0x03) beschreibt die Struktur von Programmen und Programmelementen, z.B. Bildformat, Bildfrequenz des Transportstroms

BAT	Bouquet Association Table (PID=0x0011, Table ID=0x4A): besteht aus einer Tabelle, die ein „Bouquet“ von Programmen eines Anbieters beschreibt
EIT	Event Information Table (PID=0x0012, Table ID=0x4E, und 0x50...05F): ist die mitübertragene Fernsehzeitschrift und beschreibt unter anderem wann welcher Programmbeitrag (Event) beginnt und endet
SDT	Service Description Table (PID=0x0011, Table ID=0x42): beschreibt die angebotenen Programme und Programmanbieter
RST	Running Status Table (PID=0x0013, Table ID=0x71): ermöglicht die genaue und schnelle Anpassung an einen neuen Programmablauf, falls Zeitverschiebungen im Zeitplan auftreten
TDT	Time and Date table (PID=0x0014, Table ID=0x70): beinhaltet die UTC Zeit und Datum (Universal Time Coordinated) und beschreibt die Referenzzeit am Längengrad 0
TOT	Time Offset Table (PID=0x0014, Table ID=0x73): übermittelt die UTC Zeit und Datum mit Angabe der lokalen Zeitverschiebung
ST	Stuffing Table (PID=0x0010 .. 0x0014, Table ID=0x72) löscht oder macht andere SI Tabellen ungültig

Überträgt ein Programmanbieter nicht nur einen Transportstrom, sondern hat er beispielsweise bei DVB-C oder DVB-T zwei TV Kanäle mit unterschiedlichen TS belegt, so kann er in dem jeweils anderen Kanal auf die Programme und Dienste im zweiten Kanal hinweisen.

1.10.2 SI Tabellen gemäß ETS 300 468 für DVB

Dafür existieren Tabellen mit der Zusatzbezeichnung "OTHER":

NIT OTHER

Network Information Table OTHER
(PID=0x0010, Table ID=0x41):
führt Angaben zum physikalischen Übertragungsmedium, z.B. bei DVB-S Orbit, Transpondernummer, Frequenz des Satelliten usw. im "anderen" vom Programmanbieter genutzten Kanal

SDT OTHER

Service Description Table OTHER
(PID=0x0011, Table ID=0x46):
beschreibt die angebotenen Programme und Dienste im "anderen" vom Programmanbieter genutzten Kanal

EIT OTHER

Event Information Table OTHER
(PID=0x0012, Table ID=0x4F und 0x60...0x6F):
ist die mitübertragene Fernsehzeitschrift und beschreibt unter anderem wann welcher Programmbeitrag (Event) beginnt und endet im "anderen" vom Programmanbieter genutzten Kanal

1.10.3 Sonder Tabellen

Zur Unterstützung der MHP (Multi Media Home Platform) entstand die Tabelle

AIT

Application Information Table
PID=0x20..0x1FFE wie PMT, Table-ID=0x74)
hilft dem DVB Empfänger die Datendienste im Transportstrom zu finden, zu identifizieren und entsprechend der Anwendung zu verarbeiten

Für partielle Transportströme, etwa bei aufgezeichneten TS, die nur einen Teil des originalen Datenstroms beinhalten oder in denen zeitliche Verschiebungen der Originaldaten auftreten, sind zwei Tabellen vorgesehen, die die originalen SI Tabellen ersetzen. Die PSI Tabellen sind bei partiellen Transportströmen auf PAT und PMT beschränkt.

DIT

Discontinuity Information Table
(PID=0x001E, Table ID=0x7E)
werden eingeblendet an Stellen mit zeitlichen Verschiebungen im TS

SIT

Selection Information Table
(PID=0x001F, Table ID=0x7F)
definiert den TS als "partiell" von einer digitalen Schnittstelle eines TS Speichermediums kommend

DIT und SIT sind nur bei partiellen TS erlaubt, sie dürfen nicht in sendefähige TS eingeblendet sein.

NST

Network Status Table
(PID=0x001D, Table ID=0x14)
(siehe auch 1.10.4 Sonder Pakete)
fehlen an einem überwachten Punkt in der Übertragungskette Signalelemente wie z.B. Elementarströme für Video, Audio, Daten oder Untertitel, SI Tabellen bzw. andere Fehler (Fehler nach ETR 290, BER Werte), so wird an diesem Punkt eine Tabelle mit der PID 0x1D erzeugt und in den TS eingeblendet. Hiermit wird der Fehlerstatus des Übertragungsnetzes mit Fehlerort, Uhrzeit und dem aufgetretenen Fehler im Netz signalisiert.

RCT

Remote Control Table
(PID=0x001D, Table ID=0x12)
(siehe auch 1.10.4 Sonder Pakete)
steuert vom Ort der Signalverteilung die Umschaltung zwischen lokalen und nationalen Programmen (auch zwischen Programmzeit und Werbezeit) mit der Ankündigung der Umschaltzeit

1.10.4 Sonder TS-Pakete

Für spezielle Anwendungen sind zwei TS PID's definiert worden, die zum einen einen Datenkanal zur Übertragung von Meßdaten im DVB System einrichten und zum anderen alle Informationen zur Synchronisation eines DVB-T Gleichwellen-netzes verteilen.

Das erste TS Paket mit der PID 0x1D ist in der in der Euronorm TR 101 291 beschrieben, während

das zweite TS Paket mit der PID 0x15 (genannt MIP Mega Frame Initialisation Packet) in TS 101 191 definiert ist

Das 0x1D Paket trägt Informationen zu welchem Signaltyp (Video, Audio, Daten) die mitgeführten Meßwerte gehören,

wer die Daten erzeugt

mit welchem Testsignal gemessen wurde,

wann das Paket in den TS eingefügt wurde, um Signallaufzeiten zu bestimmen

wo gemessen wurde , abgeleitet von GPS (Global Positioning System)

in welchem Programm gemessen wurde

und natürlich die Meßdaten selbst.

Das MIP mit der PID 0x15 überträgt Informationen wieviele TS Pakete bis zum Beginn des nächsten "Mega Frame" noch gesendet werden (2 Byte "pointer")

ob dieser "pointer" periodisch übertragen wird

wieviel Zeit in 100ns Schritten ab dem letzten 1pps (pulse per second) des GPS (Global Positioning System) noch vergeht bis das erste bit des nächsten Mega Frame erscheint (STS System Time Stamp)

in welcher Betriebsart das DVB-T Netz arbeitet (tps_mip) aufgeschlüsselt nach den TPS Daten (Transmission Parameter Signalling)

1.10.5 Wiederholraten von Zeitmarken und Tabellen bei DVB

Für eine ungestörte Dekodierung in der Set Top Box (STB) sind die Wiederholraten aller in den TS eingefügten Tabellen einzuhalten. DVB in ETR 290 und ISO/IEC in 13818 empfehlen die folgenden Maximal - bzw. Minimalwerte, um beim Einschalten der STB's nicht zu lange auf die wichtigsten Daten zum Inhalt des empfangenen TS warten zu müssen, andererseits aber nicht zuviel Datenrate wegen zu häufiger Wiederholung der Tabellen zu verlieren:

Parameter	minimaler Abstand ms	maximaler Abstand s
PAT	25/25	0.5/0.5
CAT	25/25	0.5/0.5
PMT	25/25	0.5/0.5
NIT	25/25	10/10
SDT	25/25	2/2
BAT	25/25	10/10
EIT	25/25	2/2
RST	25/25	---/---
TDT	25/25	30/30
TOT	25/25	30/30
PCR	0/0	0.04/0.10
PTS	---	0.7/0.7

erste Ziffer: von DVB ETR 290 empfohlene Werte

zweite Ziffer: von ISO/IEC 13818 empfohlene Werte

Tabelle 1.6

1.10.6 SI Tabellen für ATSC

Die PSI Tabellen erfüllen auch im ATSC Standard die Spezifikationen nach ISO/IEC 13 818-1. Die SI Tabellen des DVB Standards sind bei ATSC durch die PSIP Tabellen ersetzt (Program and System Information Protocol):

MGT	Master Guide Table (PID=0x1FFB, Table ID=0xC7) beinhaltet die Versionsnummern, Längen in Bytes und alle PIDs aller PSIP Tabellen mit Ausnahme der STT, die unabhängig von den anderen Tabellen ist
TVCT	Terrestrial Virtual Channel Table (PID=0x1FFB, Table ID=0xC8) vom Protokoll her eine "Private Table", beschreibt alle Programme, die in dem TS des TVC enthalten sind
CVTC	Cable Virtual Channel Table (PID=0x1FFB, Table ID=0xC9) vom Protokoll her eine "Private Table", beschreibt alle Programme, die in dem TS des CVC enthalten sind
RRT	Rating Region Table (Jugendschutztafel) (PID=0x1FFB, Table ID=0xCA) beinhaltet eine Liste von Hinweisen auf eingeschränkte Tauglichkeit für jugendliche Zuschauer. Diese Hinweise erscheinen in der MGT bei allen Programmbeiträgen. Die Liste hat für genau definierte Regionen

(z.B. gesamte USA oder einzelne Staaten) Gültigkeit

EIT-n Event Information Table
(PID=0x1FFB, Table ID=0xCB)
EIT-0 bis EIT-n (n definiert bis 127) beschreiben im 3 Stundenraster von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr (Universal Time Code UTC) den Programmablauf im TS (elektronische Fernsehzeitschrift)

ETT Extended Text Table
(PID=0x1FFB, Table ID=0xCC)
zu jeder EIT-n gehört eine ETT, die detailliert die einzelnen Programmbeiträge beschreibt

STT System Time Table
(PID=0x1FFB, Table ID=0xCD)
übermittelt die aktuelle UTC Zeit und das Datum

Optional sind zwei Tabellen möglich

DCCT Directed Channel Change Table
(PID=0x1FFB, Table ID=0xD3)

DCCSCT DCC Selection Code Table
(PID=0x1FFB, Table ID=0xD4)

Beide Tabellen unterstützen die automatische Kanalschaltung, wenn der Zuschauer über kategorisierte Programmangebote wie etwa Kino, Sport, Kleidung usw. bzw. Alterszuordnung sein Interesse an speziellen Programmsparten angekündigt hat.

1.10.7 Wiederholraten der PSIP Tabellen bei ATSC

Die Empfehlung des ATSC A/65 für Wiederholraten der PSIP Tabellen befinden sich in Tabelle 1.7

PSIP Tabelle	maximaler Abstand ms
STT	1 000
MGT	150
VCT (Virtual Channel Table)	400
RRT	60 000
EIT-0	500

Tabelle 1.7 Wiederholraten der PSIP Tabellen

Unter VCT sind hier die zwei Tabellen für terrestrische Ausstrahlung (TVCT) und Verteilung im Kabel (CVCT) gemeint. Die ETT ist an die EIT gekoppelt und sollte daher dieselbe Wiederholrate besitzen.