

**TV Digital
Rezepte
Teil 5
ITU-T J.83B**

Inhaltsverzeichnis

5.	Vorwort	3
5.1	Die Modulation für ITU-T J.83B (Kabelstandard in Nordamerika)	3
5.1.1	Das Basisbandeingangsmodule	3
5.1.2	MPEG2 Transport Framing	3
5.1.3	Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon (FEC Forward Error Correction RS)	5
5.1.3.1	FEC-Rahmen bei 64 QAM	6
5.1.3.2	FEC-Rahmen bei 256 QAM	6
5.1.4	Der Interleaver	7
5.1.5	Der Datenverwürfler	8
5.1.6	Umsetzung der verwürfelten Daten auf 64 QAM und 256 QAM	8
5.1.6.1	Umsetzung der verwürfelten Daten auf 64 QAM	8
5.1.6.2	Umsetzung der verwürfelten Daten auf 256 QAM	11
5.2	Bandbreiten der 64QAM- und 256QAM-Signale	14
5.2.1	Bandbreite des 64QAM-Signals	14
5.2.2	Bandbreite des 256QAM-Signals	14
5.2.3	Die $\sqrt{\cos}$ Filterung in Sender und Empfänger	14
5.2.4	Die wichtigsten ITU-T J.83B Daten	15
5.3	Datenraten und Symbolraten in ITU-T J.83B	16
5.4	Wichtige Anforderungen an einen ITU-T J.83B Meßsender	18
5.5	Leistungsmessung	19
5.5.1	Messung der mittleren Leistung mit einem thermischen Leistungsmesser Typ R&S NRVS	19
5.5.2	Messung der mittleren Leistung mit einem Spektrumanalysator von Typ R&S FSEx , R&S FSP oder R&S FSU	20
5.5.3	Messung der mittleren Leistung mit einem TV Meßempfänger vom Typ R&S EFA Modelle 70 und 73	21
5.6	Das Bitfehlerverhältnis BER	22
5.7	Messung der BER mit R&S SFQ und R&S SFQ-B17 bzw. R&S SFL-J und R&S SFL-K17	24
5.8	Die QAM-Parameter	25
5.8.1	Das Entscheidungsfeld	25
5.8.2	Das QAM-Konstellations-Diagramm	26
5.8.3	I/Q Imbalance	26
5.8.4	I/Q Quadrature Error	26
5.8.5	Carrier Suppression (Trägerunterdrückung)	27
5.8.6	Phasen Jitter	27
5.8.7	Die Spektren von Phasen- und Amplitudenjitter	27
5.8.8	Signal-Rausch-Verhältnis SNR	28
5.9	MER Modulation Error Ratio	29
5.10	BER Messung (Bit Error Ratio)	29
5.11	END (Equivalent Noise Degradation) Messung	30
5.12	Das ITU-T J.83B Spektrum	31
5.12.1	Spektrum in Amplitude und Phase	31
5.12.2	Spektrum und Schulterabstand	32
5.13	Echos im Kabelkanal	32
5.14	Der Crest Faktor des ITU-T J.83B Signals	32
5.15	History	33
5.16	Alarm Report	33
5.17	Optionen zum QAM-Meßdemodulator R&S EFA Modell 70/73	35
5.17.1	HF Selektion R&S EFA-B3 (für R&S EFA Mod.73)	35
5.17.2	Messungen mit der Option R&S EFA-B4 MPEG2-Meßdekoeder	35
5.17.3	SAW Filter 2 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz	37
5.18	Zusammenfassung aller ITU-T J.83B spezifischen Messungen	38

5. Vorwort

Neben der Datenkodierung nach MPEG2 (Motion Picture Experts Group), die die Datenrate der Schnittstelle nach ITU-R BT.601 von 270 Mbit/s auf Werte um typisch 3 - 5 Mbit/s reduziert, ist für eine optimale Übertragung dieser Informationen auch eine spezielle Modulationsart nötig (siehe auch Teil 1 "ITU-R BT.601/656 und MPEG2"). Wie schon in den DVB-Standards zeigt der Vergleich mit einer analogen Modulationsart, daß auch der in Nordamerika benutzte Kabelstandard nach ITU-T J.83B über die 6 MHz-Kanalbandbreite ein flaches Spektrum mit konstanter mittlerer Leistungsdichte besitzt.

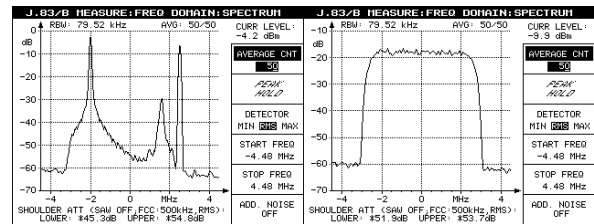


Bild 5.1 Das M/NTSC Spektrum im Vergleich zum ITU-T J.83B Spektrum

Der Modulator (entsprechend auch der Demodulator) für ITU-T J.83B ist gegenüber dem in Europa und vielen weiteren Ländern üblichen DVB-C Modulator komplexer ausgelegt. Die verkettete Kodierung der MPEG2 Daten ergibt einen höheren Vorwärtsfehlerschutz als bei DVB-C.

5.1 Die Modulation für ITU-T J.83B (Kabelstandard in Nordamerika)

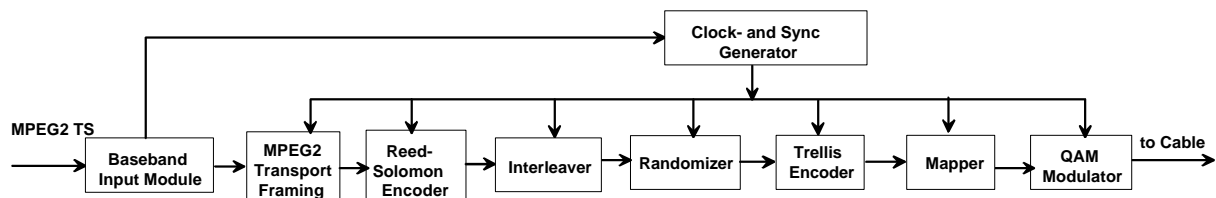


Bild 5.2 Funktionsstromlauf des ITU-T J.83B Modulators/Umsetzers

5.1.1 Das Basisbandeingangsmodul

Die MPEG2 Transportstrom-Pakete TS gelangen über die Schnittstellen

SPI Synchronous Parallel Interface,
 ASI Asynchronous Serial Interface,
 SSI Synchronous Serial Interface,
 SDTI Serial Digital Transport Interface,
 HDB3 High Density Bipolar of order 3
 ATM Asynchronous Transfer Mode

mit den für den Kabelstandard nach ITU-T J.83B genau definierten Datenraten von netto 26.97035 Mbit/s bei 64 QAM oder netto 38.81070 Mbit/s bei 256 QAM an den ersten Funktionsblock des DTV Modulators. Andere QAM Modi sind nicht vorgesehen. In dem Basisband-Eingangsmodul werden die TS-Daten regeneriert, die Rückflusdämpfung optimiert und Pegel und Frequenzgänge korrigiert. Von hier aus erhält der Funktionsblock "Takt- und Sync- Generator", der als "Taktzentrale" für den gesamten ITU-T J.83B - Modulator arbeitet, alle nötigen Informationen. Diese sind zum Beispiel die Datenrate, abgeleitet von den eingehenden

TS-Daten, im Falle von SPI zusätzlich die Signalisierung des Syncbytes im TS-Paket bzw. die Information ob die Daten gültig sind oder nicht mittels der Data Valid Leitung. Die regenerierten TS-Pakete gelangen vom Ausgang des Basisband-Eingangsmoduls an den Eingang des nächsten Funktionsblocks:

"MPEG2 Transport Framing".

5.1.2 MPEG2 Transport Framing

Nach dem Eingangsmodul folgt der erste Bearbeitungsschritt der TS-Pakete:

Zur sicheren Synchronisation des Empfängers und zur zusätzlichen Fehlerkorrektur wird über eine "gleitende Check-Summenberechnung" die MPEG2 Transport-Paket-Struktur verändert. Das Syncbyte 0x47, das gemäß der MPEG2 Spezifikation am Anfang jedes TS Paketes steht, wird nach einem Berechnungsprozeß gelöscht, durch das Checksummen-Byte, das durch die "gleitende Check-Summenberechnung" entsteht, ersetzt und nach den 187 Restbytes des TS Pakets angehängt. Es entsteht wieder ein Paket mit 188 Bytes Länge.

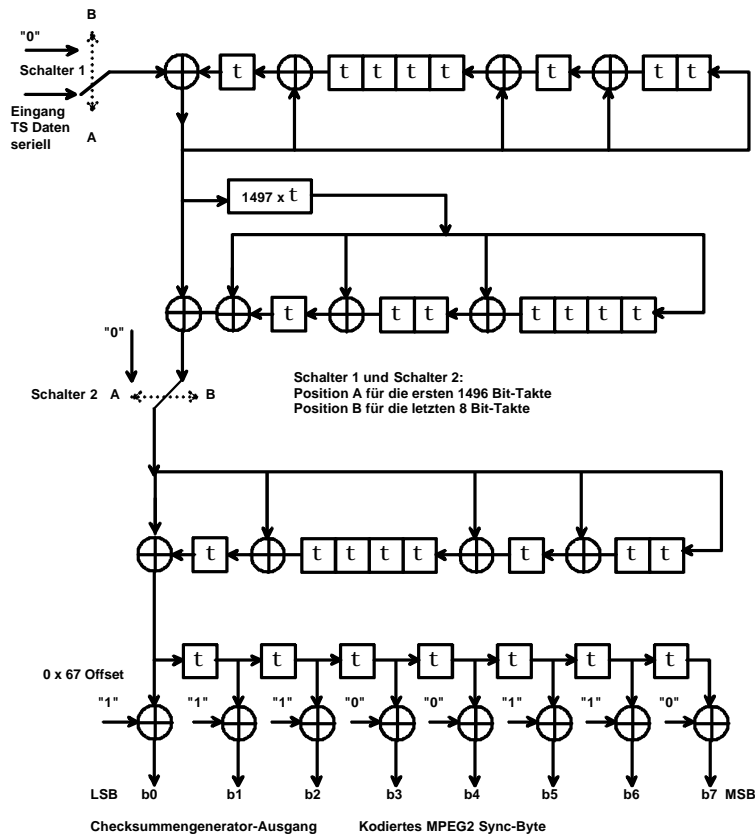


Bild 5.3 Der Checksummengenerator für die Kodierung des MPEG2 Sync-Byte

Am Eingang des Checksummengenerators liegen die MPEG2 Daten in serieller Form an. Ein TS Paket hat demnach die Länge $188 \cdot 8 = 1504$ Bit. Da die Checksummenberechnung nur 187 Bytes berücksichtigt, ist die tatsächliche Datenmenge nur $1504 - 8 = 1496$ Bit. Der Checksummengenerator ist durch folgende Gleichung beschrieben:

$$f(x) = \frac{1 + x^{1497} \cdot b(x)}{g(x)} \quad \text{wobei}$$

$$g(x) = 1 + x + x^5 + x^6 + x^8 \text{ und}$$

$$b(x) = 1 + x + x^3 + x^7$$

Vor dem Start der Kodierung sind alle Taktzwischenspeicher auf "0" gesetzt. Danach werden die 1496 Bits in das rückgekoppelte Schieberegister geschoben. Nach den 1496 Takten wird auch das Schieberegister mit Gleichung $g(x)$ auf "0" gesetzt und mit den letzten acht Takten mit dem Offset $0x67$ das kodierte Sync-Byte erzeugt. Dieses kodierte Sync-Byte erzeugt seinerseits nach der Dekodierung das Originalsync-Byte $0x47$. Der zugehörige "Syndrome"-Generator hat folgenden Aufbau:

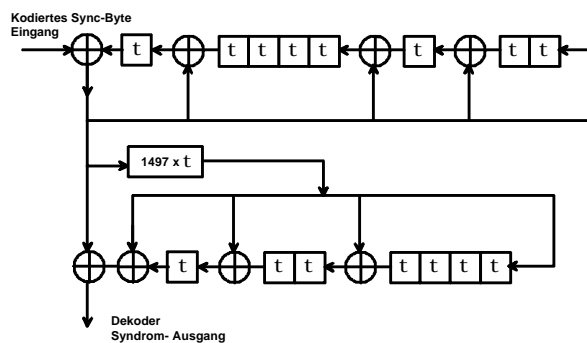


Bild 5.4 Der Syndrom-Generator für die Dekodierung des MPEG2 Sync-Bytes

War am Eingang des Syndrom-Generators ein gültiges Kodewort angelegt, so entsteht am Ausgang das originale Sync-Byte 0x47. Anstelle des Kodewortes wird das als gültig erkannte Sync-Byte eingesetzt. Es entsteht wieder ein normgerechtes TS-Paket mit dem Sync-Byte als Start-Byte mit 188 Bytes Länge. Allerdings ist das zugefügte Sync-Byte vom vorherigen TS Paket abgeleitet.

Mit einer Matrix-Operation wird derselbe Effekt erreicht.

Empfangen wird ein Vektor R der Länge 187 Bytes MPEG2 Daten und das Check-Summen-byte. R ist dargestellt als ein Vektor mit 1×1504 (ein TS Paket enthält $8 \times 188 = 1504$ bit). Dieser Vektor wird (Modulo 2) multipliziert mit einer Parity Check Matrix P der Größe 1504×8 . Wenn alles fehlerfrei übertragen und berechnet wurde ist das Ergebnis dieser Operation der Vektor S der Größe 1×8 mit dem Inhalt $S = [0100\ 0111] = 0 \times 47$ dem originalen Sync-Byte eine TS Paketes.

Um den Aufbau der Parity Check Matrix P zu zeigen, ist zuerst ein Vektor C der Größe 1×1497 zu definieren. C hat folgenden Aufbau:

$C = 1497 \times 1 =$

B03 F	D741	9FB9	B445	1E70
857 F	9546	9EC8	23E0	AFF2
97A 5	B182	40E4	2E3B	F4A1
0DDB	5B53	989D	C59B	BB7D
EBA0	4FDC	5A22	0F38	7419
CAA3	CF64	91F0	57F9	546B
58C1	2072	171D	7A50	1825
2DA9	4C4E	E2CD	DDBE	B534
A7EE	AD11	879C	BA0C	FDCC
67B2	48F8	2BFC	AA35	F642
1039	0B8E	BD28	8C12	0724
2627	F166	6EDF	DA9A	C4EA
5688	C3CE	5D06	7EE6	D114
A47C	15FE	551A	7B21	8F
05C7	5E94	C609	0392	1 (binär)
78B3	376F	6D4D	6275	
61E7	AE83	3F73	688A	
0AFF	2A8D	3D90	47C0	
2F4A	6304	81C9	5C77	
1BB7	B6A6	313A	8B36	

Werte im Hex-Format, wenn nicht anders bezeichnet

Bild 5.5 Der Vektor C

Die Hex-Werte bitweise seriell in die Vektorspalte eingetragen ergibt eine Spaltentiefe von 1497 Bit.

Der Vektor C wird nach folgendem Schema zur Matrix P kombiniert:

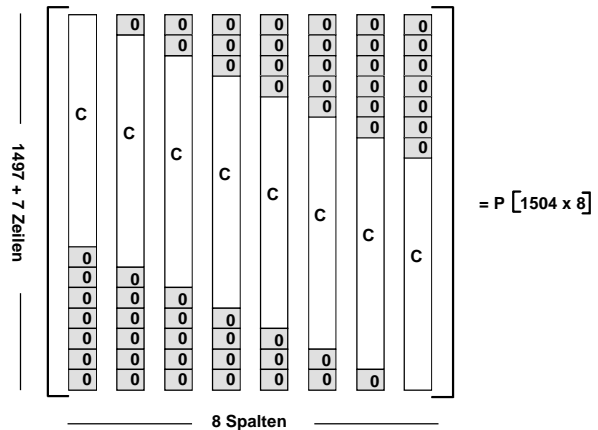


Bild 5.6 Die Parity Check Matrix P

Der Vektor C ist um 7 Null-Bits erweitert. 8 erweiterte Spalten sind zur Matrix P kombiniert, wobei der Vektor C innerhalb dieser Spalten von Spalte zu Spalte um je ein Bit nach unten geschoben ist.

Die Modulo-2 Multiplikation dieser Matrix mit dem empfangenen Vektor R ergibt das Original-Sync-Byte 0x47.

5.1.3 Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon

(FEC Forward Error Correction RS)

Der Ausgang des Checksummengenerators liegt am Eingang des Funktionsblockes "Reed-Solomon Encoder". Der erste Schritt zur RS Kodierung teilt die TS-Paket-Daten in Abschnitte zu je 7 Bit. Je 122 dieser so gewonnenen 7-Bit-Symbole sind zusammengefaßt mit 6 angehängten RS FEC-Symbolen und bilden einen RS-Block. Der 128,122,3 RS FEC kann pro Block 3 fehlerhafte Symbole korrigieren. Der RS-FEC erreicht damit einen „fast fehlerfreien“ (QEF: quasi error free) Datenstrom mit einem Fehlerereignis pro 15 Minuten, wenn das BER den (hier empirisch ermittelten) Wert 7×10^{-5} vor RS FEC erreicht.

Für die beiden in ITU-T J.83B definierten Modulationsarten - 64QAM und 256QAM - sind ab hier unterschiedliche Verarbeitungsschritte vorgeschrieben.

5.1.3.1 FEC-Rahmen bei 64 QAM

Für 64 QAM bilden 60 RS-Blöcke zu je 128 Symbolen Länge, denen noch sechs 7-Bit-

Symbole als Rahmen-Synchronwort angehängt sind, einen FEC-Rahmen.

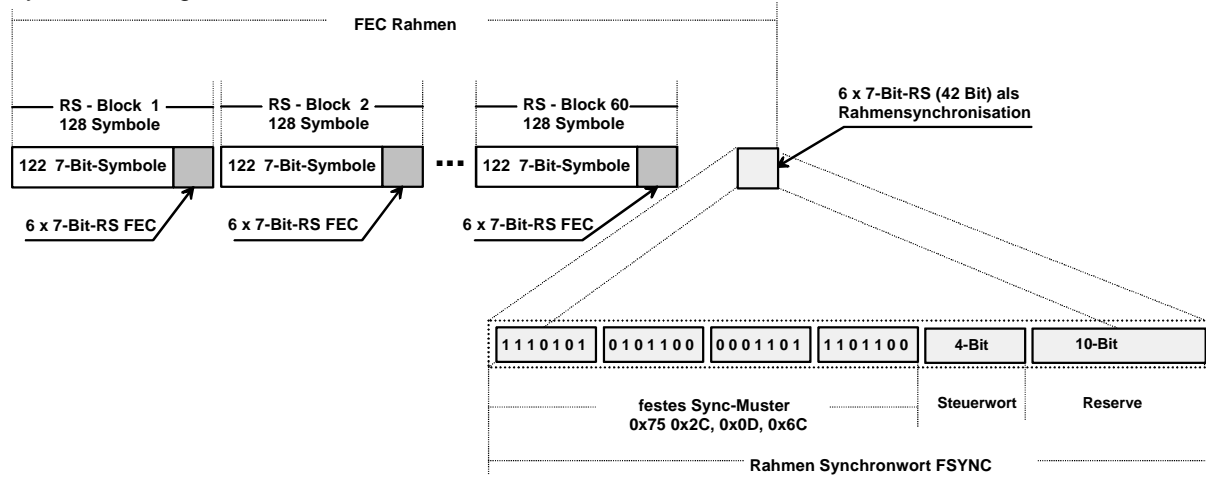


Bild 5.7 Das Rahmenformat bei 64 QAM

Das Rahmen-Syncwort FSYNC (Frame Sync) besteht aus einem festen Muster, das vier 7-Bit-RS-Symbole umfaßt:

111 0101, 010 1100, 000 1101 und 110 1100, gefolgt von einem 4-Bit Steuerwort und 10 Reserve-Bits, die alle auf "0" gesetzt sind.

Das Steuerwort zeigt die Einstellungen des benutzten Levels und des Interleavers an. Tabelle 5.2 erklärt die Bedeutung dieser vier Bits.

5.1.3.2 FEC-Rahmen bei 256 QAM

Für 256 QAM bilden 88 RS-Blöcke zu je 128 Symbolen Länge, denen noch 40 Bit als Rahmen-ergänzungs-Synchronwort angehängt sind, einen FEC-Rahmen.

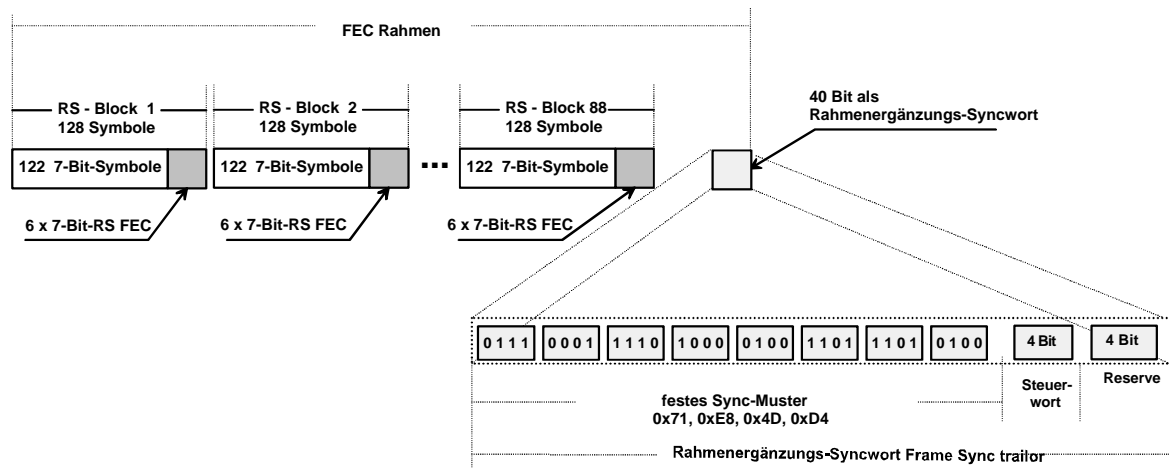


Bild 5.8 Das Rahmenformat bei 256 QAM

Das Rahmenergänzungs-Syncwort (Frame Sync Trailer) besteht aus einem festen Muster, das vier Bytes umfaßt: 0x71, 0xE8, 0x4D und 0xD4, gefolgt von einem 4-Bit Steuerwort und 4 Reserve-Bits, die alle auf "0" gesetzt sind.

Das Steuerwort zeigt die Einstellungen des benutzten Levels und des Interleavers an. Tabelle 5.2 erklärt die Bedeutung dieser vier Bits.

5.1.4 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 und sogar ganz auslöschen können. Die Möglichkeiten des RS-Fehler-schutzes 3 RS-Symbole pro RS-Block zu korrigieren reichen dann nicht aus. Deshalb wird der Interleaver eingesetzt, der zwischen ursprünglich benachbarten RS-Symbolen eines RS-Blocks in dem "Reduced Interleaver Mode" je nach Betriebsart 8, 16, 32, 64 und 128 RS-Symbole (die Convolutional Interleaver Modi definieren hier $i = 8, 16, 32, 64$ und 128 Interleaver-Zweige, siehe Bild 5.9) von anderen RS-Blöcken einfügt. Burstfehler von maximal

$3 \times 8 =$	24	RS-Symbolen
$3 \times 16 =$	48	RS-Symbolen
$3 \times 32 =$	96	RS-Symbolen
$3 \times 64 =$	192	RS-Symbolen bzw.
$3 \times 128 =$	384	RS-Symbolen

Länge können nun korrigiert werden, wenn nach dem Deinterleaver im Empfänger/Decoder nicht mehr als 3 fehlerhafte Symbole pro RS-Block auftreten.

Im "Enhanced Interleaver Mode" sind $i = 128$ Zweige vorgesehen mit unterschiedlichen Speichertiefen von $M = 1 \dots 8$.

Reduced Interleaver Mode	
Pfade	$I = 8, 16, 32, 64, 128$
Speichertiefe der FIFOs	$M = 1, 2, 4, 8, 16$
Enhanced Interleaver Mode	
Pfade	$I = 128$
Speichertiefe der FIFOs	$M = 1 \dots 8$
Synchronisation	Anfang eines FEC Frame über den ersten Zweig

Tabelle 5.1 Interleaver Level 2

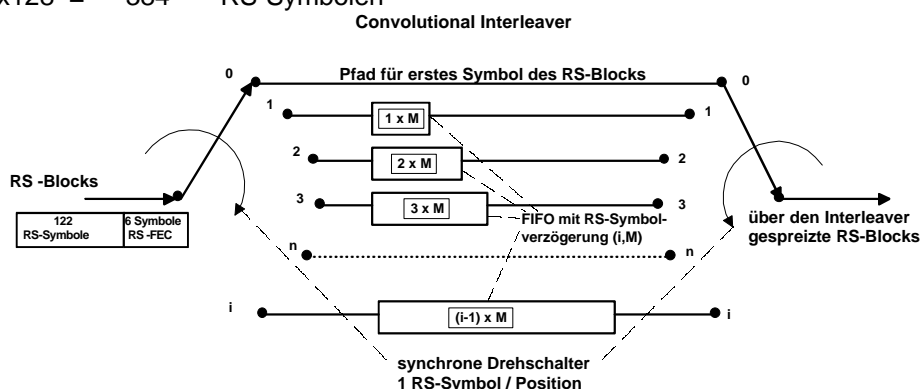


Bild 5.9 Convolutional Interleaver

Welcher Mode gemäß Tabelle 5.1 verwendet wird zeigen 4-Bit Steuerworte "FSYNC" bei 64 QAM und der "Frame Sync Trailer" bei 256 QAM. Die Tabelle 5.2 zeigt den Interleaving Level mit der Bedeutung der Steuerworte.

Je nach Interleaver-Ausführung sind Level 1 (nur für 64 QAM) und Level 2 (für beide 64 QAM und 256 QAM) verfügbar.

Interleaver Level 1 für 64 QAM						
Steuer-wort 4Bit	Zweige i	Speicher-tiefe M	maximale Länge T_L μs eines Fehlerbursts		Einschwingzeit T_E ms des Interleavers	
			64QAM	256QAM	64QAM	256QAM
XXXX	128	1	94.92	65.98	4.018	
Interleaver Level 2						
Steuer-wort 4Bit	Zweige i	Speicher-tiefe M	maximale Länge T_L μs eines Fehlerbursts		Einschwingzeit T_E ms des Interleavers	
			64QAM	256QAM	64QAM	256QAM
0001	128	1	94.92	65.98	4.018	2.793
0011	64	2	47.46	32.99	1.993	1.386
0101	32	4	23.73	16.49	0.981	0.682
0111	16	8	11.86	8.25	0.475	0.330
1001	8	16	5.93	4.12	0.221	0.154
1011	reserviert					
1101						
1111						
0000	128	1	94.92	65.98	4.018	2.793
0010	128	2	189.8	132.0	8.036	5.586
0100	128	3	284.8	197.9	12.06	8.379
0110	128	4	379.7	263.9	16.07	11.17
1000	128	5	474.6	329.9	20.09	13.97
1010	128	6	569.5	395.9	24.11	16.76
1100	128	7	664.4	461.9	28.13	19.55
1110	128	8	759.4	527.8	32.15	22.35

Tabelle 5.2 Interleaver Level und Steuerworte

5.1.5 Der Datenverwürfler

Der Datenverwürfler (Randomizer) sorgt für eine Gleichverteilung der 7-Bit-RS-Symbole nach dem Mapping zum Konstellations-Diagramm. Dies wiederum sorgt für eine konstante Leistungsdichte im ITU-T J.83 B Spektrum und erleichtert dem Demodulator die stabile Synchronisation des Kabelsignals.

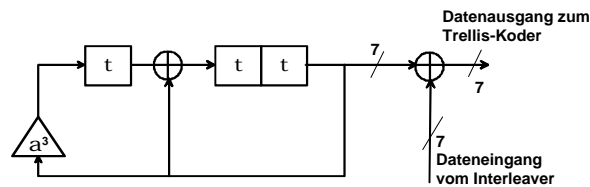


Bild 5.10 Der Datenverwürfler

Das Polynom für die im Verwürfler angewandte PRBS im Galois Feld (128) lautet:

$$f(x) = x^3 + x + \alpha^3$$

wobei $\alpha^7 + \alpha^3 + 1 = 0$

Die Verknüpfungen sind immer 7-Bit breit und umfassen jeweils genau ein RS-Symbol.

Zur Synchronisation wird der Verwürfler während der Synchronisationsbits am Ende des RS-FEC-Rahmens (siehe 5.1.3 Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon) in den drei Zwischenspeichern auf "0" zurückgesetzt. Der Takt ist mit dem ersten RS-Symbol eines RS-FEC-Rahmens freigegeben und ist mit dem letzten RS-Symbol des letzten RS-Blocks im FEC Rahmen wieder gesperrt. Somit bleiben die Synchronisationsbits unverwürfelt.

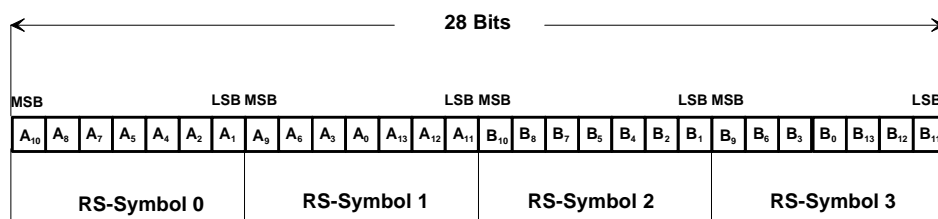


Bild 5.11. "A" und "B" Symbole bei 64 QAM

5.1.6 Umsetzung der verwürfelten Daten auf 64 QAM und 256 QAM

Bisher war immer nur von Bits und RS-Symbolen die Rede. Um diese Daten mit 64/256 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) zu übertragen, müssen sie in QAM-Symbole überführt werden. Der erste Schritt dazu ist die Bildung von "Trellis-Gruppen" aus den Ausgangsdaten des Datenverwürflers.

5.1.6.1 Umsetzung der verwürfelten Daten auf 64 QAM

Bei 64 QAM besteht eine Trellis-Gruppe aus 28 Bits, d.h. aus 4 verwürfelten RS-Symbolen. Die Bits der vier Symbole sind umsortiert und in "A"-Symbole und "B"-Symbole unterteilt. Die Anordnung zeigt Bild 5.11.

Die so umsortierte Trellis-Gruppe liegt am Eingang des 64 QAM Modulators mit Trellis-Kodierung. Der Eingangsfunktionsblock des 64 QAM Modulators sortiert die "A" und "B" Symbole ein weiteres Mal um und erzeugt die vier MSBs

für den QAM Mapper, sowie die noch zu kodierenden zwei LSBs für den QAM Mapper. Die Daten zeigen dann folgende Struktur:

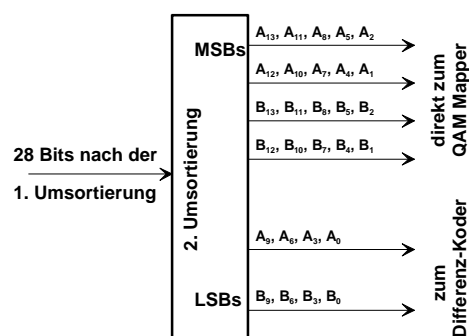


Bild 5.12 Die zweite Umsortierung der "A" und "B" Symbole einer Trellis-Gruppe

oder in Tabellenform aufgezeigt:

		64 QAM Symbole				
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
direkt zum Mapper		B ₂	B ₅	B ₈	B ₁₁	B ₁₃
		B ₁	B ₄	B ₇	B ₁₀	B ₁₂
		A ₂	A ₅	A ₈	A ₁₁	A ₁₃
		A ₁	A ₄	A ₇	A ₁₀	A ₁₂
zum Koder		B ₀	B ₃	B ₆	B ₉	
		A ₀	A ₃	A ₆	A ₉	
Zeit →						

Tabelle 5.3 64 QAM Symbole einer Trellis-Gruppe

Das Symbol T₄ hat nach dieser Tabelle erst 4 Bit. Die fehlenden 2 Bit erzeugt der Trellis-Koder und die folgende Punktierung.

Die Daten einer Trellis-Gruppe entsprechen, wie aus der Tabelle 5.3 ersichtlich ist den fünf 6 Bit breiten 64 QAM Symbolen T₀, T₁, T₂, T₃ und T₄.

Zunächst werden aber die zum Trellis-Koder geführten Bits differenz-kodiert. Die Differenzkodierung erhöht die Dekodiersicherheit eines ITU-T J.83B Empfängers erheblich.

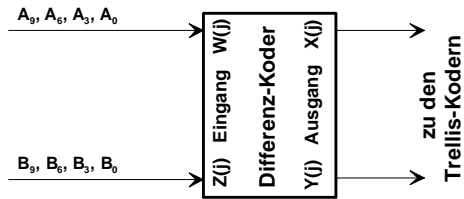


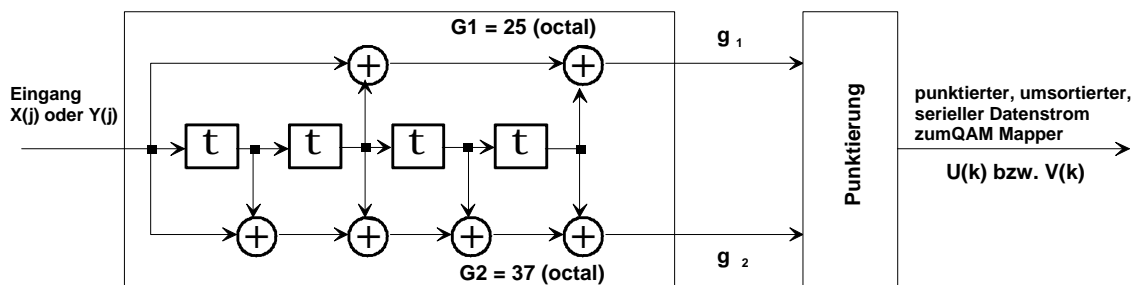
Bild 5.13 Der Differenz-Koder

Die Differenz-Kodierung folgt den Gleichungen:

$$X(j) = W(j) + X(j-1) + Z(j)(X(j-1) + Y(j-1)) \text{ und} \\ Y(j) = Z(j) + W(j) + Y(j-1) + Z(j)(X(j-1) + Y(j-1)).$$

Nach der Differenzkodierung folgen für beide Bits unabhängige Trellis-Koder (Convolutional Coder mit $k = 5$).

Die zugehörigen Generator-Gleichungen sind: $G1 = 25$ (octal) und $G2 = 37$ (octal). Die anschließende Punktierung mit der Coderate 4/5, generiert aus den zwei mal vier Bit Ausgangsdaten einen seriellen Datenstrom mit 5 Bit pro Trellis-Gruppe.



Eingangsdaten	Convolutional Coder Ausgang	Punktierung	Umsortierung zum seriellen Datenstrom der U und V Bits
<div>X(j) oder Y(j)</div> <div>X(j+1) oder Y(j+1)</div> <div>X(j+2) oder Y(j+2)</div> <div>X(j+3) oder Y(j+3)</div>	<div>g₁(j)</div> <div>g₁(j+1)</div> <div>g₁(j+2)</div> <div>g₁(j+3)</div> <div>g₂(j)</div> <div>g₂(j+1)</div> <div>g₂(j+2)</div> <div>g₂(j+3)</div>	<div>g₁(j+3)</div> <div>g₂(j)</div> <div>g₂(j+1)</div> <div>g₂(j+2)</div> <div>g₁(j+3)</div> <div>g₂(j+3)</div>	<div>g₂(j)</div> <div>g₂(j+1)</div> <div>g₂(j+2)</div> <div>g₁(j+3)</div> <div>g₂(j+3)</div>

Bild 5.14 Der Convolutional Coder und die Punktierung zur Coderate 4/5

Ab hier sind alle Einzelfunktionsblocks des 64 QAM Modulators mit Trellis-Kodierung bekannt.

Im Gesamtfunktions-Stromlauf ist noch die Zuordnung der unkodierten MSBs der "A" und "B" Symbole und der kodierten "U" und "V" Bits zu beachten

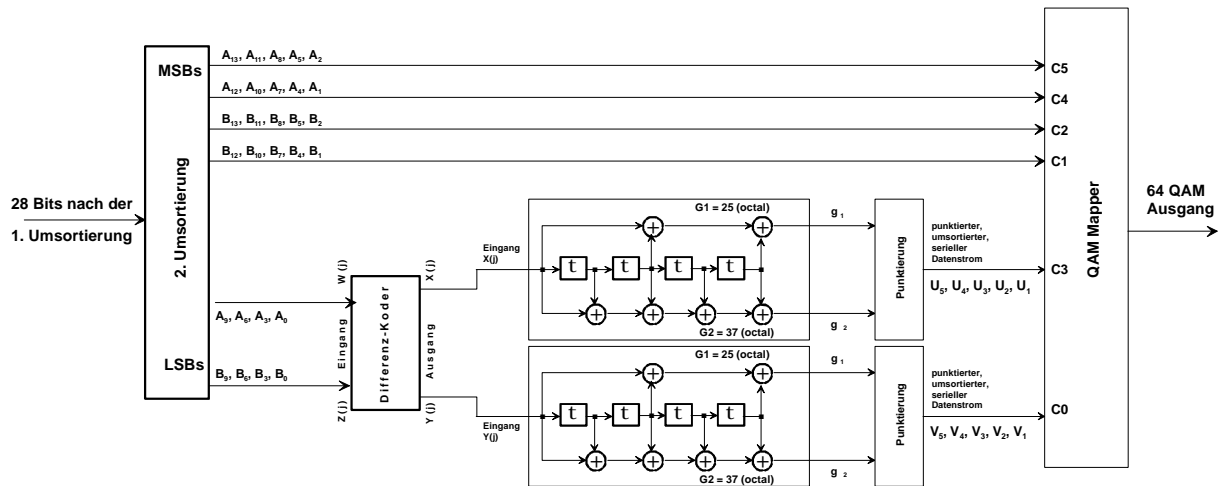


Bild 5.15 Der 64 QAM Modulator mit Trellis-Kodierung

Betrachtet man die Gesamt-Coderate, so errechnet sich diese zu: $28/30 = 14/15$.

Die 6 Bit breiten 64 QAM Symbole am Ausgang des Mappers erzeugen im Modulator ein Konstellations-Diagramm mit folgender Zuordnung:

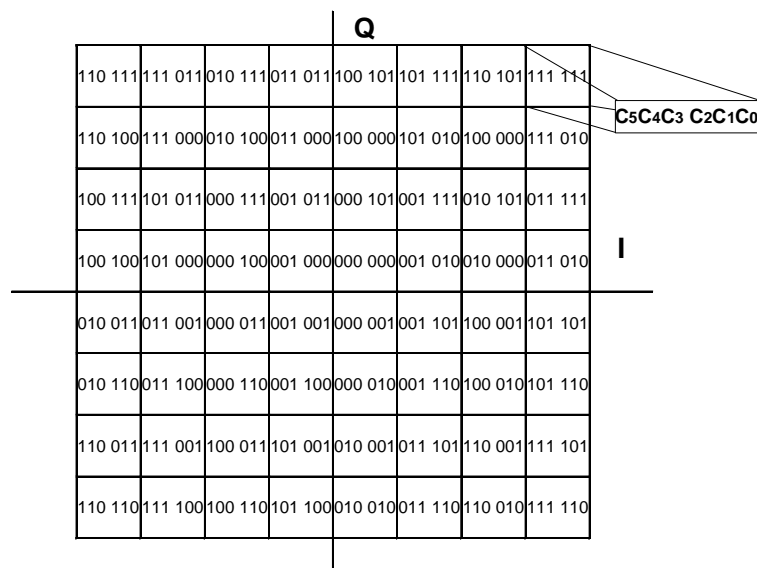


Bild 5.16 Das 64 QAM Konstellationsdiagramm für den Standard ITU-T J.83B

Die 64 QAM-Symbole sind $\sqrt{\cos}$ roll off gefilterte analoge Impulse mit $\sin(x)/x$ -ähnlichem Spektrum und 8 Amplitudenstufen für die I- und Q Komponente. Die 8 Amplituden sind hier durch je 3 Bit für I und Q definiert.

Ein Symbol besteht aus einem Paar I- und Q-Werte, die bei der Modulation orthogonal angeordnet werden. „I“ steht für „Inphase“ und „Q“ für „Quadratur“-Komponente. Die so entstehenden Signale haben daher ein definiertes ebenes Spektrum (Bild 5.1 rechts).

5.1.6.2 Umsetzung der verwürfelten Daten auf 256 QAM

Bei 256QAM existieren zwei Arten von Trellis-Gruppen. Sie sind "Non Sync" und "Sync" Gruppen benannt. Eine "Non Sync" Trellis-Gruppe besteht aus 38 Bits. Eine "Sync" Gruppe besteht aus 30 Datenbits und 8 Syncbits. Da ein RS-FEC-Rahmen 88 RS-Blocks und 40 Bit Rahmenergänzungs-Syncwort (Frame Sync Trailer) umfaßt, sind dem Rahmen genau 2076

Trellis-Gruppen zugeordnet. Die ersten 2071 Trellis-Gruppen übertragen nur Datenbits, während die letzten 5 Trellis-Gruppen je 30 Datenbits und 8 Syncbits beinhalten. Die Bits der Trellis-Gruppen sind umsortiert und in "A"-Symbole und "B"-Symbole unterteilt. Die Anordnung zeigt Bild 5.17.

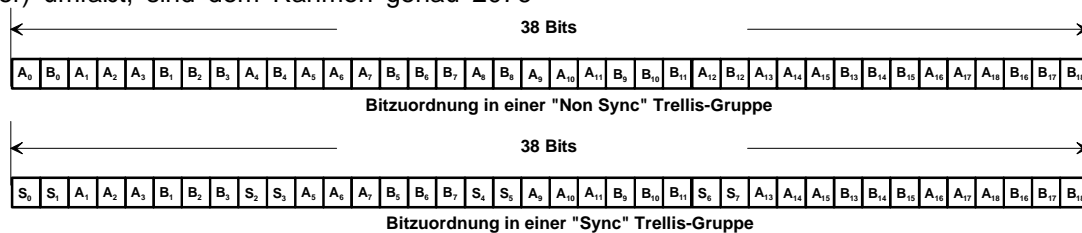


Bild 5.17. "A", "B" und "S" Bits bei 256 QAM Trellis-Gruppen

Die so umsortierten Trellis-Gruppen liegen am Eingang des "256 QAM Modulators mit Trellis-Kodierung". Der Eingangsfunktionsblock des 256 QAM Modulators sortiert die "A", "B" und "S" Bits ein weiteres Mal um und erzeugt die sechs MSBs für den QAM Mapper, sowie die noch zu kodierenden zwei LSBs. Die Daten zeigen dann folgende Struktur:

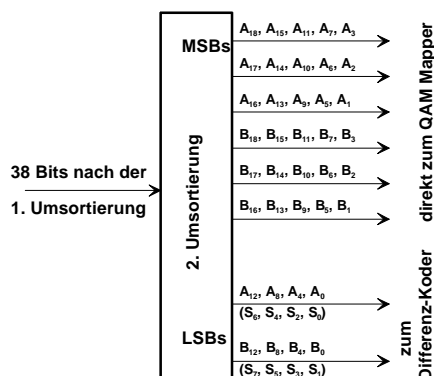


Bild 5.18 Die zweite Umsortierung der Bits der Trellis-Gruppen

oder in Tabellenform aufgezeigt:

256 QAM Symbole der "Non Sync" Trellis-Gruppe					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
direkt zum Mapper	B ₃	B ₇	B ₁₁	B ₁₅	B ₁₈
	B ₂	B ₆	B ₁₀	B ₁₄	B ₁₇
	B ₁	B ₅	B ₉	B ₁₃	B ₁₆
	A ₃	A ₇	A ₁₁	A ₁₅	A ₁₈
	A ₂	A ₆	A ₁₀	A ₁₄	A ₁₇
zum Koder	A ₁	A ₅	A ₉	A ₁₃	A ₁₆
	B ₀	B ₄	B ₈	B ₁₂	
	A ₀	A ₄	A ₈	A ₁₂	

Tabelle 5.4 256 QAM Symbole der "Non Sync"-Trellis-Gruppe

256 QAM Symbole der "Sync" Trellis-Gruppe					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
direkt zum Mapper	B ₃	B ₇	B ₁₁	B ₁₅	B ₁₈
	B ₂	B ₆	B ₁₀	B ₁₄	B ₁₇
	B ₁	B ₅	B ₉	B ₁₃	B ₁₆
	A ₃	A ₇	A ₁₁	A ₁₅	A ₁₈
	A ₂	A ₆	A ₁₀	A ₁₄	A ₁₇
zum Koder	A ₁	A ₅	A ₉	A ₁₃	A ₁₆
	S ₁	S ₃	S ₅	S ₇	
	S ₀	S ₂	S ₄	S ₆	

Tabelle 5.5 256 QAM Symbole der "Sync" Trellis-Gruppe

Das Symbol T₄ hat nach dieser Tabelle erst 6 Bit. Die fehlenden 2 Bit erzeugt der Trellis-Koder und die folgende Punktierung. Die Daten einer Trellis-Gruppe entsprechen, wie aus den Tabellen 5.4 und 5.5 ersichtlich ist den fünf 8 Bit breiten 256 QAM Symbolen T₀, T₁, T₂, T₃ und T₄.

Zunächst werden aber die zum Trellis-Koder geführten Bits differenz-kodiert. Die Differenzkodierung erhöht die Dekodiersicherheit eines ITU-T J.83B Empfängers erheblich.

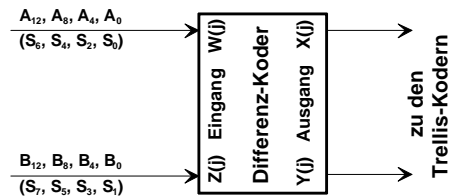


Bild 5.19 Der Differenz-Koder

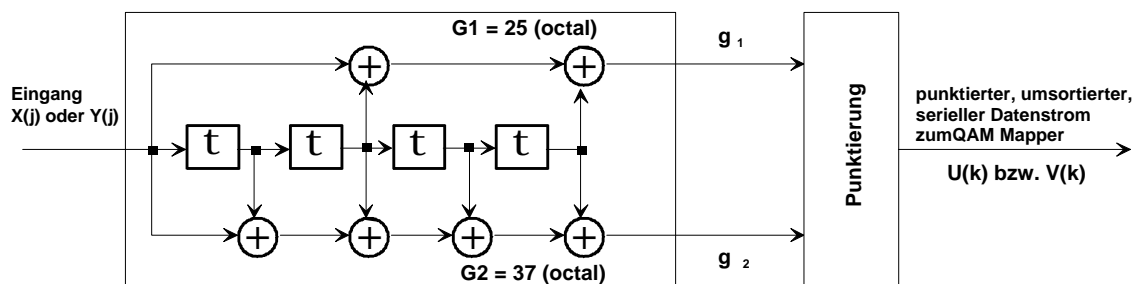
Die Differenz-Kodierung folgt den Gleichungen:

$$X(j) = W(j) + X(j-1) + Z(j)(X(j-1) + Y(j-1)) \text{ und} \\ Y(j) = Z(j) + W(j) + Y(j-1) + Z(j)(X(j-1) + Y(j-1)).$$

Nach der Differenzkodierung folgen für beide Bits unabhängige Trellis-Koder (Convolution Coder mit $k = 5$).

Die zugehörigen Generator-Gleichungen sind: $G1 = 25$ (octal) und $G2 = 37$ (octal).

Die anschließende Punktierung mit der Coderate 4/5, generiert aus den zwei mal vier Bit Ausgangsdaten einen seriellen Datenstrom mit 5 Bit pro Trellis-Gruppe.



Eingangsdaten	Convolutional Coder Ausgang	Punktierung	Umsortierung zum seriellen Datenstrom der U und V Bits
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>$X(j)$ oder $Y(j)$</div> <div>$X(j+1)$ oder $Y(j+1)$</div> <div>$X(j+2)$ oder $Y(j+2)$</div> <div>$X(j+3)$ oder $Y(j+3)$</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>$g_1(j)$</div> <div>$g_1(j+1)$</div> <div>$g_1(j+2)$</div> <div>$g_1(j+3)$</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>$g_2(j)$</div> <div>$g_2(j+1)$</div> <div>$g_2(j+2)$</div> <div>$g_2(j+3)$</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>$g_1(j+3)$</div> <div>$g_2(j)$</div> <div>$g_2(j+1)$</div> <div>$g_2(j+2)$</div> <div>$g_2(j+3)$</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>$g_2(j)$</div> <div>$g_2(j+1)$</div> <div>$g_2(j+2)$</div> <div>$g_2(j+3)$</div> <div>$g_2(j+3)$</div> </div>

Bild 5.20 Der Convolutional Coder und die Punktierung zur Coderate 4/5

Ab hier sind alle Einzelfunktionsblocks des 256 QAM Modulators mit Trellis-Kodierung bekannt.

Im Gesamtfunktions-Stromlauf ist noch die Zuordnung der unkodierten MSBs der "A" und "B" Bits und der kodierten "U" und "V" Bits zu beachten

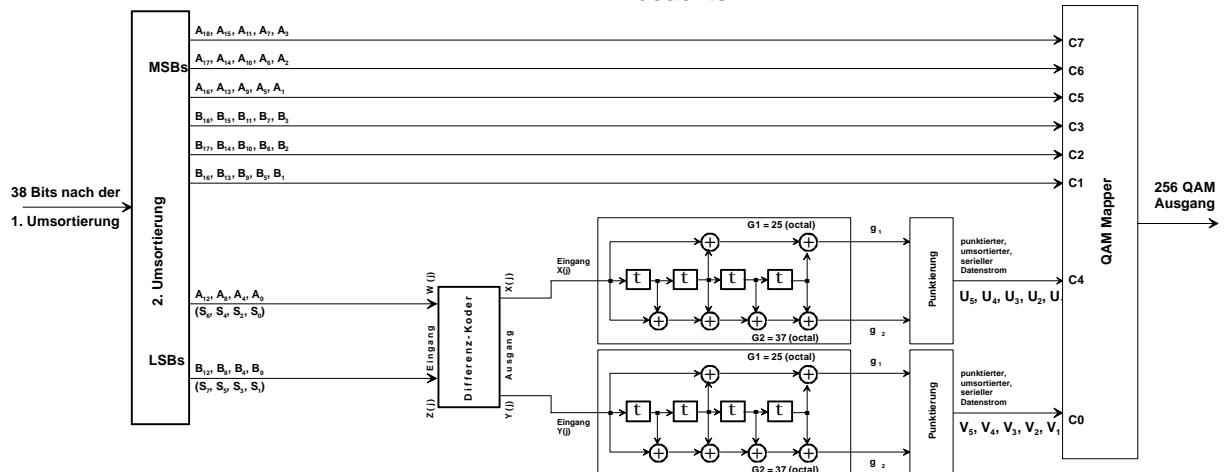


Bild 5.21 Der 256 QAM Modulator mit Trellis-Kodierung

Betrachtet man die Gesamt-Coderate, so errechnet sich diese zu: $38/40 = 19/20$.

Die 8 Bit breiten 256 QAM Symbole am Ausgang des Mappers erzeugen im Modulator ein Konstellations-Diagramm mit folgender Zuordnung:

																Q															
1110	1111	1110	1111	1110	1111	1110	1111	1111	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1111	1101	1011	1001	0111	0101	0011	0001	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111		1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1100	1101	1100	1101	1100	1101	1100	1101	1101	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1100	1010	1000	0110	0100	0010	0000	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100		1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
1010	1011	1010	1011	1010	1011	1010	1011	1011	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1111	1101	1011	1001	0111	0101	0011	0001	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011		1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011	1011
1000	1001	1000	1001	1000	1001	1000	1001	1001	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1100	1010	1000	0110	0100	0010	0000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
0100	0111	0110	0111	0110	0111	0110	0111	0111	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1111	1101	1011	1001	0111	0101	0011	0001	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111		0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111	0111
0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1100	1010	1000	0110	0100	0010	0000	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100		0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100
0010	0011	0010	0011	0010	0011	0010	0011	0011	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1111	1101	1011	1001	0111	0101	0011	0001	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011		0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011
0000	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001	0001	0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111		0000	0011	0100	0111	1000	1011	1100	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1100	1010	1000	0110	0100	0010	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001		0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0001	0001
0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001		0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	0001	0010	0011	0010	0011	0010	0011	0010	0011		0010	0011	0010	0011	0010	0011	0010	0011	0010	0011	0010	0011	0010	0011
0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010	0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110		0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0101	0101		0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0101	0100	0101
0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0001	0011	0101	0111	1001	1011	1101	1111		0001	0011	0101	0111	1001	1011	1101	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	0110	0111	0110	0111	0110	0111	0110	0111	0111		0110	0111	0110	0111	0110	0111	0110	0111	0110	0111	0110	0111	0110	0111
0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110		0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	1000	1001	1000	1001	1000	1001	1000	1001	1001		1000	1001	1000	1001	1000	1001	1000	1001	1000	1001	1000	1001	1000	1001
1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	0001	0011	0101	0111	1001	1011	1101	1111		0001	0011	0101	0111	1001	1011	1101	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	1010	1011	1010	1011	1010	1011	1010	1011	1011		1010	1011	1010	1011	1010	1011	1010	1011	1010	1011	1010	1011	1010	1011
1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110		0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	1100	1101	1100	1101	1100	1101	1100	1101	1101		1100	1101	1100	1101	1100	1101	1100	1101	1100	1101	1100	1101	1100	1101
1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	0001	0011	0101	0111	1001	1011	1101	1111		0001	0011	0101	0111	1001	1011	1101	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
1110	1101	1010	1001	0110	0101	0010	0001	1110	1111	1110	1111	1110	1111	1110	1111	1111		1110	1111	1110	1111	1110	1111	1110	1111	1110	1111	1110	1111	1110	1111
1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110	0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110		0000	0010	0100	0110	1000	1010	1100	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110

Bild 5.22 Das 256 QAM Konstellationsdiagramm für den Standard ITU-T J.83B

Die 256 QAM-Symbole sind " $\sqrt{\cos}$ roll off" gefilterte analoge Impulse mit $\sin(x)/x$ -ähnlichem Spektrum und 16 Amplitudenstufen für die I- und Q Komponente. Die 16 Amplituden sind hier durch je 4 Bit für I und Q definiert.

Ein Symbol besteht aus einem Paar I- und Q-Werte, die bei der Modulation orthogonal angeordnet werden. „I“ steht für „Inphase“ und „Q“ für „Quadratur“-Komponente. Die so entstehenden Signale haben daher ein definiertes ebenes Spektrum (Bild 5.1 rechts).

5.2 Bandbreiten der 64QAM- und 256QAM-Signale

5.2.1 Bandbreite des 64QAM-Signals

Zur Bandbreitenbestimmung benutzt man die vorgegebene Nettodatenrate R_{N64} bei 64QAM Übertragung. Sie beträgt 26.97035 MBit/s. Daraus errechnet sich die Bruttodatenrate zu:

$$R_{B64} = R_{N64} \cdot \frac{((122 + 6) \cdot 7 \cdot 60) + 42}{122 \cdot 7 \cdot 60} \cdot \frac{15}{14} \text{ MBit / s}$$

$$= 30.34164375 \text{ Mbit/s}$$

Ein 64QAM-Symbol trägt 6 Bit dieser Bruttodatenrate R_{B64} . Damit ergibt sich die Symbolrate S , die ausgedrückt in Hz die Signalbandbreite darstellt:

$$BW_{64} = \frac{30.34164375}{6} = 5.056940625 \text{ MHz}$$

Die Kanalbandbreite bei M/NTSC beträgt $BW_{\text{Kanal}} = 6 \text{ MHz}$.

Mit der Signalbandbreite $BW_{64} = 5.056940625 \text{ MHz}$

läßt sich der optimale "roll off" Faktor r berechnen:

$$r = 1 - \frac{BW_{\text{Kanal}}}{BW_{64}} = 1 - \frac{6.0}{5.056940625} = 0,186488$$

In Prozent ausgedrückt sind dies 18.6488 %. Die Norm ITU-T J.83B spricht bei 64 QAM von 18 %.

5.2.2 Bandbreite des 256QAM-Signals

Zur Bandbreitenbestimmung benutzt man die vorgegebene Nettodatenrate R_{N256} bei 256QAM Übertragung. Sie beträgt 38.81070 MBit/s. Daraus errechnet sich die Bruttodatenrate zu:

$$R_{B256} = R_{N256} * \frac{((122 + 6) * 7 * 88) + 40}{122 * 7 * 88} * \frac{20}{19} \text{ MBit / s}$$

$$= 42.884294869 \text{ Mbit/s}$$

Ein 256QAM-Symbol trägt 8 Bit dieser Bruttodatenrate R_{B256} . Damit ergibt sich die Symbolrate S , die ausgedrückt in Hz die Signalbandbreite darstellt:

$$BW_{256} = \frac{42.884294869}{8} = 5,360536858625 \text{ MHz}$$

Die Kanalbandbreite bei M/NTSC beträgt $BW_{\text{Kanal}} = 6 \text{ MHz}$.

Mit der Signalbandbreite $BW_{256} = 5,360536858625 \text{ MHz}$

läßt sich der optimale "roll off" Faktor r berechnen:

$$r = 1 - \frac{BW_{\text{Kanal}}}{BW_{256}} = 1 - \frac{6.0}{5,360536858625} = 0,119291$$

In Prozent ausgedrückt sind dies 11.9291 %. Die Norm ITU-T J.83B spricht bei 256 QAM von 12 %.

5.2.3 Die $\sqrt{\cos}$ Filterung in Sender und Empfänger

Die in Sender und Empfänger über die $\sqrt{\cos}$ Filter ($\sin x/x$)-ähnlich geformten Symbole haben einen konstanten Amplituden - und Gruppenlaufzeitfrequenzgang. Die $\sqrt{\cos}$ Filterungen in Sender und Empfänger erzeugen eine "cos roll off" Spektrumsflanke (siehe Bild 5.24 Die Filterung mit "cos roll off"). Dabei hängt die Annäherung an das ideale $\sin x/x$ Spektrum vom gewählten "roll off" Faktor ab. Je kleiner dieser Faktor ist, desto ähnlicher wird das Spektrum dem des $\sin x/x$.

Legt man eine lineare Skala für den Pegel zu Grunde, findet man am Ausgang des ITU-T J.83B Modulators das theoretische Spektrum:

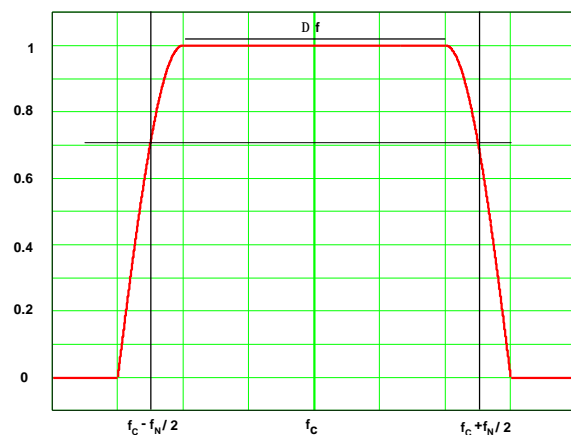


Bild 5.23 Das $\sqrt{\cos}$ -gefilterte Spektrum
Deutlich ist der steile Verlauf bei kleinen Pegeln am linken und rechten Ende des Spektrums des

$\sqrt{\cos}$ Filters zu erkennen. Die Dämpfung bei den Nyquistfrequenzen $f_C \pm f_N/2$ ist 3 dB.

Der "roll off" Faktor r berechnet sich aus dem Verhältnis der Nyquistbandbreite und dem flachen "Dach" des Spektrums.

$$r = \frac{f_N}{\Delta f} - 1$$

Die $\sqrt{\cos}$ Filterung in Sender und Empfänger erzeugt eine "cos roll off" Spektrumsflanke

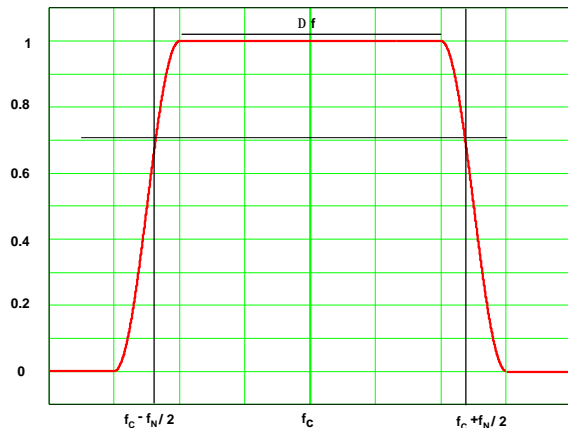


Bild 5.24 Die Filterung mit "cos roll off"

Deutlich ist der nun flachere und runde Verlauf bei kleinen Pegeln am linken und rechten Ende des Spektrums nach der cos-Filterung zu erkennen. Die Dämpfung bei den Nyquistfrequenzen $f_C \pm f_N/2$ ist jetzt 6dB.

Zur Verdeutlichung hier nochmals die $\sqrt{\cos}$ und die cos Filterflanke gedehnt dargestellt:

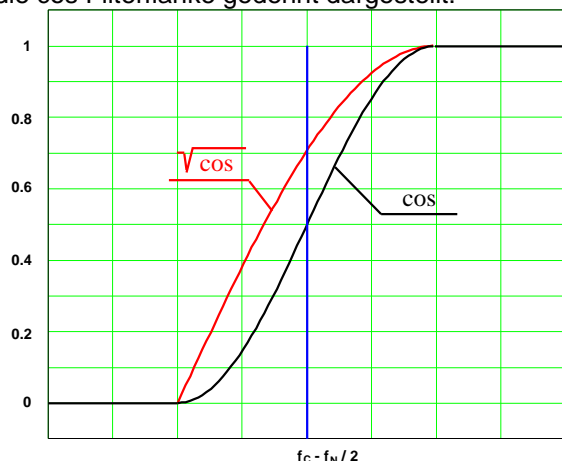


Bild 5.25 Die Filterflanke mit " $\sqrt{\cos}$ roll off" und "cos roll off"

Mit dieser in Sender und Empfänger geteilten Filterung wird dreierlei erreicht:

1. Die genaue Erfüllung der Nyquistbedingung ermöglicht die exakte und fehlerfreie Wiedergewinnung des gesendeten Signals
2. Bei verrauschten Übertragungen gewährleistet die Verteilung der $\sqrt{\cos}$ Filter in Sender und Empfänger die optimale Rauschfilterung im Empfänger
3. Signalfilterung innerhalb des Empfängers und damit verbunden die Nutzkanalselektion

Die nötige Bandbreite im Übertragungskanal B_K ist über Symbolrate und "roll off" Faktor definiert mit

$$BW_{\text{Kanal}} = S \cdot (1+r) \text{ MHz.}$$

5.3 Die wichtigsten ITU-T J.83B Daten

QAM Mode	64 256	
Symbolform		ähnlich $\frac{\sin x}{x}$ cos "roll off" gefiltert
roll off Faktor	64QAM 256QAM	0,18 0,12
Netto-Bitraten R MBit/s	64QAM 256QAM	26.97035 38.81070
Brutto-Bitraten R MBit/s	64QAM 256QAM	30.34164375 42.884294869
Symbolrate S MSymb/s	64QAM 256QAM	5.056940625 5,360536858625

Tabelle 5.6

5.3 Datenraten und Symbolraten in ITU-T J.83 B

Der Ausgang eines MPEG2-Multiplexers oder der Ausgang eines MPEG2-Generators liefert Video-, Audio- und andere Daten in Form von TS-Paketen (Transport-Strom) mit definierter Datenrate R. In ITU-T J.83 B sind zwei Brutto-Datenraten festgelegt.

Die erste für 64 QAM beträgt

$$R_{B64} = 30.34164375 \text{ Mbit/s und}$$

die zweite für 256 QAM beträgt

$$R_{B256} = 42.884294869 \text{ Mbit/s}$$

Jedes Symbol überträgt

bei 64 QAM 6 Bit und

bei 256 QAM 8 Bit

des MPEG2-Datenstroms, jeweils 3 bzw. 4 Bit für die I- und Q-Komponente.

Daraus errechnen sich die Symbolraten zu

$$S_{64} = 5.056940625 \text{ MSymb/s}$$

$$S_{256} = 5.360536859 \text{ MSymb/s.}$$

Diese Datenraten bzw. Symbolraten sind genau einzuhalten. Abweichungen von $> 1 \cdot 10^{-5}$ könnten die senderinterne und vor allem die empfangnerinterne Signalverarbeitung außer Funktion setzen, weil die nötigen Quartz-PLLs an die Grenze ihres Ziehbereichs stoßen. Die meßtechnische Überwachung ist so ein Muß.

Im Standard ITU-T J.83 B sind die beiden möglichen Datenraten zunächst fest vorgegeben, sie sind aber durch ändern der Symbolraten bei

64QAM im Bereich 4.5...5.625 MSymb/s
(entspricht einer Bruttodatenratenänderung von 27.0....33.75 Mbit/s)

und bei

256QAM im Bereich 4.8...5.9 MSymb/s
(entspricht einer Datenratenänderung von 38.4....47.2 Mbit/s)

in den TV Meßsendern R&S SFQ und R&S SFL einstellbar. Der Fangbereich der Symbolraten-PLL der STBs (Set Top Box) für den amerikanischen Kabelstandard gemäß ITU-T J.83 B ist damit einfach zu überwachen.

Der Einstellbereich der Symbolraten ist dabei in jedem Falle sehr viel größer, als der reale Fangbereich der STBs.

Für Messungen im DTV-Standard (Digital TeleVision) nach ITU-T J.83 B modulieren der R&S SFQ und R&S SFL-J den TS Datenstrom strikt nach den Spezifikationen. Darüber hinaus kann ein solches ideales Signal durch Einfügen von Modulationsfehlern, wie die Abweichung von der idealen Symbolrate, definiert und reproduzierbar verschlechtert werden. Solche Streßsignale sind für den Test von DTV Empfängern unabdingbar, um Systemgrenzen festzustellen.